



Antti Leväniemi

Informaativirran parantaminen rakennushankkeen tuotanto- vaiheessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 19.7.2019

Valvoja: Professori Antti Peltokorpi

Ohjaaja: TkL Matti Tauriainen

Tekijä Antti Leväniemi

Työn nimi Informaatiovirran parantaminen rakennushankkeen tuotantovaiheessa

Maisteriohjelma Building Technology

Koodi ENG27

Työn valvoja Prof. Antti Peltokorpi

Työn ohjaaja TkL Matti Tauriainen

Päivämäärä 19.7.2019

Sivumäärä 95 + 1

Kieli suomi

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää rakennushankkeen tuotantovaiheeseen liittyvän informaatiovirran hallintaa. Tavoitteeseen pyritään vastaamaan päätutkimuskysymyksellä: Kuinka parantaa rakennusvaiheen informaatiovirtaa leanin ja tietomallien avulla? Tätä päätavoitetta tuetaan kartoittamalla kohdeyrityksen nykytilaa informaatiovirran hallinnassa sekä olemassa olevia menetelmiä informaatiovirran hallintaan.

Rakennusprojektin tuotantovaiheessa informaatio virtaa useiden eri toimijoiden välillä, useita eri alustoja pitkin sekä ihmisten ja järjestelmien välillä. Tätä informaatiovirran kokonaisuutta pyritään yhtenäistämään ja parantamaan yhdistelemällä lean-filosofiaan pohjautuvista menetelmistä ja tietomallintamisen tarjoamista mahdollisuuksista kokonaisuus informaatiovirran hallitsemiseksi.

Tutkimus koostuu kirjallisuustutkimuksesta sekä empiirisestä osuudesta, jossa tutkimusmenetelmänä käytetään tapaustutkimusta. Tiedonkeruumenetelmänä käytetään haastattelua, dokumentteja sekä tutkijan omakohtaista havainnointia. Tapaustutkimuskohteita on neljä ja niiden yhteydessä on haastateltu kahdeksaa työmaatoimihenkilöä.

Tuloksena esitetään menetelmäkokonaisuus, jonka avulla tuotantovaiheen informaatiovirtaa voidaan hallita. Kokonaisuus pohjautuu pitkälti digitaaliseen ratkaisuun, joten eri toimijoiden erilaiset ohjelmistoympäristöt ja niiden yhteensopivuus voivat aiheuttaa ongelmia menetelmäkokonaisuuden käyttöönotossa. Siksi kokonaisuus on luonteeltaan modulaarinen, eli siitä voidaan ottaa tarpeen mukaan käyttöön vain osa.

Erityisesti informaatiovirtaa tuotantovaiheessa saatiin parannettua kohteen 4D-aikatauluttamisella, siihen liittyvällä digitaalisella toteumaseurannalla ja esivalmisteen toimittajan tuotannonohjausjärjestelmään tehtävällä integraatiolla. Tämä mahdollistaa ennen kaikkea tiedon ajantasaisuuden, sillä perinteisesti jopa päivien viive tiedon siirrossa saadaan typistettyä minuuttitasolle.

Avainsanat Informaatiovirta, Tietomallintaminen, Lean-rakentaminen



Author Antti Leväniemi

Title of thesis Improving the information flow in the construction phase of a construction project

Master programme Building Technology

Code ENG27

Thesis supervisor Prof. Antti Peltokorpi

Thesis advisor Matti Tauriainen Lic.Sc. (Tech.)

Date 19.7.2019

Number of pages 95 + 1

Language Finnish

Abstract

The objective of this study is to develop the management of the information flow in the construction phase of a construction project. The main research question is “How to improve the information flow in the construction phase with lean and BIM?”. This objective is supported by mapping the present situation of the information flow management in the target company and existing methods to manage the information flow.

In the construction phase of a construction project, the information flows between numerous parties, via different platforms and between people and systems. This whole is tried to be unified and improved by combining a whole of lean-based methods and opportunities provided by BIM to manage the information flow.

The study consists of literature research and an empirical section, which is conducted as a case study. The data collection methods used in the study are interviews, documents and direct observations made by the researcher. There are four cases and altogether eight site managers and engineers are interviewed.

As a result, a whole of methods is presented to manage the information flow of the construction phase. The whole is well based on a digital solution, so different softwares of different parties can cause problems with interoperability. Due to that, the whole is modular so it can be used partially if needed.

The information flow in the construction phase was improved especially with 4D-scheduling, digital information of current status of the site and integration with the ERP system of prefabricated element manufacturer. In the first hand, this enables up-to-date information, since the traditional latency of days in the worst case can be cut down to minutes.

Keywords Information flow, Building Information Modeling, Lean construction

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Lujatalo Oy:n toimeksiantona Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun rakennustekniikan laitokselle. Työn valvojana toimii apulaisprofessori Antti Peltokorpi ja ohjaajana Lujatalon digitaalisen rakentamisen johtaja, tekniikan lisensiaatti Matti Tauriainen.

Antti ja Matti ovat antaneet arvokasta palautetta ja kehitysehdotuksia sekä ohjanneet työtä ja omalta osaltaan kannustavasti ja asiantuntevasti. Ilman heitä työn vieminen oikeaan suuntaan olisi ollut huomattavasti hankalampaa.

Haluan kiittää Lujataloa työni rahoittamisesta. Kiitokset kuuluvat myös niille henkilölle, joita olen tätä tutkimusta varten saanut haastatella ja joiden työmaita olen saanut käyttää tutkimuskohteina.

Lopuksi haluan kiittää läheisiäni tuesta ja kannustuksesta paitsi tämän diplomityön, myös koko opintojeni ajalta.

Espoossa 19.7.2019

Antti Leväniemi

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	5
Lyhenteet	7
1 Johdanto	9
1.1 Tutkimuksen taustaa	9
1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	10
1.3 Tutkimuksen rajaus	12
1.4 Tutkimusprosessi ja –menetelmät	12
1.4.1 Kirjallisuustutkimus	13
1.4.2 Tapaustutkimus	13
1.4.3 Tutkimuskohteiden valinta	14
1.4.4 Tiedonkeruumenetelmät	15
1.4.5 Analysointimenetelmät	18
2 Teoreettinen tausta	19
2.1 Informaatiiovirta	19
2.2 Lean informaatiovirtojen hallinnassa	22
2.2.1 Mitä on lean? – Lyhyt kuvaus lean-filosofiasta	22
2.2.2 Hukkatyypit	23
2.2.3 Tarve tuottavuuden parantamiselle rakennusteollisuudessa	25
2.2.4 Leanin soveltaminen rakennusallalla	27
2.2.5 Lean-pohjaiset metodit informaatiovirtojen hallinnassa	30
2.2.6 Last Planner	32
2.2.7 Big Room	39
2.2.8 Solmutyöskentely	39
2.2.9 Visuaalinen ohjaus	42
2.3 Tietomallintaminen informaatiovirtojen hallinnassa	42
2.3.1 Mitä on BIM? – Lyhyt kuvaus tietomallintamisesta	42
2.3.2 Tietomallintamisen ja lean-rakentamisen vuorovaikutus	44
2.3.3 Tietomallinnuksen hyödyntäminen tuotantovaiheen informaatiovirtojen hallintaan	46
2.4 Aikaisemman tutkimuksen yhteenveto	52
3 Informaatiovirtojen hallinta kohdeyrityksessä	55
3.1 Perinteiset käytännöt informaatiovirran hallintaan työmaalla	55
3.1.1 Suunnittelutiedon siirtäminen työmaatoimistolta työmaalle	55
3.1.2 Kommunikaatio suunnittelijoiden ja tavarantoimittajien kanssa	56
3.1.3 Tarpeellisen tiedon saatavuus	56
3.2 Käytetyt informaatiovirran hallintametodit	56
3.3 Työmaahenkilöstön näkemykset informaatiovirran hallintamenetelmistä	59
4 Empiirinen tutkimus	61
4.1 Tapaus 1	61
4.1.1 Toteutus	61
4.1.2 Haasteet	66
4.1.3 Vaikutukset informaatiovirtaan	66
4.2 Tapaus 2	67

4.2.1	Toteutus	67
4.2.2	Haasteet.....	70
4.2.3	Vaikutukset informaatiovirtaan	70
4.3	Tapaus 3	71
4.3.1	Toteutus	72
4.3.2	Haasteet.....	74
4.3.3	Vaikutukset informaatiovirtaan	74
4.4	Tapaus 4	75
4.4.1	Toteutus	76
4.4.2	Haasteet.....	78
4.4.3	Vaikutukset informaatiovirtaan	81
4.5	Tapaustutkimuksen yhteenveto	81
5	Menetelmäkokonaisuus informaatiovirran hallitsemiseen rakennushankkeen tuotantovaiheessa	83
6	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	86
6.1	Tulosten yhteenveto ja pohdinta	86
6.2	Johtopäätökset ja suositukset	86
6.3	Tutkimuksen rajoitteet	87
6.4	Jatkotutkimusaiheet.....	87
	Lähdeluettelo	88
	Liite 1	

Lyhenteet

2D	Kaksiulotteinen, tasomainen
3D	Kolmiulotteinen
4D	Kolmiulotteinen lisättynä neljännellä dimensiolla, ajalla (Kymmell 2008)
5D	Neliulotteinen lisättynä viidennellä dimensiolla, kustannuksilla (Kymmell 2008)
BCF	Building Collaboration Format, tiedostomuoto tietomallien kommentteille
BIM	Building Information Modeling, eli tietomallinnus
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
IFC	Industry Foundation Classes, tietomallien tiedostomuoto eri ohjelmistojen väliseen tiedonsiirtoon
IGLC	International Group for Lean Construction, kansainvälinen konferenssi Lean-rakentamiselle
IV	Ilmanvaihto
LCI	Lean Construction Institute
LP	Last Planner
LVI	Lämpö, vesi, ilma
PDF	Portable Document Format, yleisesti käytetty paperidokumenttien tiedostomuoto
PPC	Percent Plan Complete, kts. TTP
RYL	Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, Rakennustieto Oy:n julkaisema kriteeristö rakennustyön laadulle
SMC	Solibri Model Checker, ohjelmisto tietomallien yhdistämiseen ja tarkasteluun
SMV	Solibri Model Viewer, SMC:n kevyempi versio tietomallien tarkasteluun
TPS	Toyota Production System, Toyotan tuotantojärjestelmä

TTP	Tehtävien toteutumisprosentti, Last Planner –menetelmän tunnusluku
UDA	User-Defined Attribute, käyttäjän määrittelemä ominaisuus
XML	Extensive Markup Language, tiedonsiirtomuoto eri ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaa

Leania ja siihen liittyvää metodiikkaa ja työkaluja on tutkittu paljon myös rakennusosalalle sovellettuna. Tämä näkyy hyvin esimerkiksi vuosittaisen IGLC-konferenssin (International Group for Lean Construction) kattavassa konferenssipaperitarjonnassa. Lukuisia tutkimuksia on julkaistu myös muissa julkaisuissa. Informaatiovirtoja on kuitenkin käsitelty lähinnä toimitusketjuihin liittyen. Esimerkiksi Mukaddes ym. (2010) ja Chibba & Rundquist (2004) analysoivat toimitusketjuja, mutta näitä artikkeleita ei ole kirjoitettu rakennusalan näkökulmasta, joten ne eivät sellaisenaan ole suoraan sovellettavissa rakennusosalalle. Toisaalta Opitz, Windisch ja Scherer (2014) tutkivat perinteisten dokumenttien ja tietomallien informaatiotarjontaa rakennusosalalla.

Tietomallien informaatiotarjontaa ja sen hyödyntämistä on myös peilattu lean-rakentamisen periaatteisiin. Sacks ym. (2010) ovat löytäneet yhteensä 56 yhtymäkohtaa tutkimiansa 24 lean-periaatteen ja 18 tietomallinnustoiminnon välillä. Neljää lukuun ottamatta kaikki niistä olivat rakentavia (Sacks ym., 2010) ja positiivisia (Eastman ym., 2011). Näiden löydösten perusteella lean-periaatteilla on vahva yhteys tietomallintamiseen. Rakennusvaiheen informaatiovirtojen hallitsemiseen ja parantamiseen tähtäävissä menetelmissä ja niiden kehittämisessä kannattaa myös pitää mielessä tämä yhteys lean-periaatteiden ja tietomallintamisen välillä.

Aikaisempi tutkimus jättää rakennushankkeen tuotantovaiheen informaationvirtojen hallinnan käytännössä kokonaan huomiotta. Aihetta on sivuttu esimerkiksi edellä mainituissa tutkimuksissa, mutta tutkimusta ei ole kohdistettu rakennusalan informaatiovirtoihin. Tätä aukkoa tutkimuskentässä pyritään täyttämään tämän diplomityön avulla.

Tässä diplomityössä tutkitaan tuotantovaiheen informaatiovirtoja kohdeyrityksenä toimivan Lujatalon kontekstissa. Lujatalo Oy on suomalainen rakennusyhtiö, joka kuuluu Luja-yhtiöihin. Luja-yhtiöt on yksi Suomen suurimmista rakennusalan toimijoista. Se on perustettu vuonna 1953, ja nykyään Luja-yhtiöt työllistää yli 1600 ihmistä Suomessa.

Vuonna 2017 Lujatalo oli Suomen kuudenneksi suurin rakennusyhtiö (CMPartner AB 2018). Edellä olevat viisi rakennusyhtiötä ovat kaikki pörssissä noteerattuja osakeyhtiöitä, mikä tekee Lujatalosta Suomen suurimman perheomisteisen rakennusyhtiön. Vuonna 2017 Lujatalon liikevaihto oli 545 miljoonaa euroa sisältäen tytäryhtiö Lujabetonin liikevaihdon, sillä yhtiö ei julkaise erillistä liikevaihtoa Lujatalo Oy:n ja Lujabetoni Oy:n osalta.

Lujatalo toimii uudisrakentamisen parissa niin asuin- kuin toimitilarakentamisessakin. Uudisrakentamisen lisäksi Lujatalo toimii myös korjausrakentamisalalla. Luja-konsernin noin 1600 työntekijästä noin 740 työskentelee Lujatalo Oy:ssä ympäri Suomen. Valtaosa työntekijöistä ja toiminnasta sijoittuu pääkaupunkiseudulle sekä Kuopioon, missä yritys on perustettu. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Espoossa.

Lujatalon strategia vuosille 2015-2020 sisälsi tietomallintamisen (BIM, Building Information Modeling) käyttöönottamisen yrityksessä. Tietomallinnuksen käyttöönotolla pyrittiin parantamaan kilpailukykyä ja vastaamaan markkinoiden kehittymiseen.

Vuodesta 2015 lähtien tietomallinnettujen projektien määrä on kasvanut nopeasti. Tänä päivänä tietomallinnettuja projekteja on yli 100. Tietomallinnusta käytetään suunnitteluun ja sen ohjaamiseen, kustannuslaskentaan, aikataulutukseen ja rakentamisvaiheen tukemiseen. Toteumamalleja (engl. As-built model) luovutetaan joissakin projekteissa tilaajille käytettäväksi rakennuksen ylläpitoa varten (ns. ylläpitomalli, engl. Maintenance model).

Vuonna 2017 strategiaa tarkennettiin vuosien 2018-2020 osalta. Tämä tarkennettu versio sisälsi viisi strategista tavoitetta, joista yksi oli ”Virtaviivainen toiminta”. Toimintojen virtaviivaistamiseksi tarpeettomia, eli arvoa tuottamattomia toimintoja pitää vähentää. Ratkaisuksi tähän tarpeeseen on nostettu lean-filosofian, -työkalujen ja -menetelmien hyödyntäminen. Tästä seuraa luonnollisesti jatkoselvitystarpeita: Kuinka Lean saadaan otettua käyttöön organisaatiossa? Mitkä ovat käyttökelpoisia työkaluja ja toimintatapoja alkuvaiheessa?

Yritys- ja projektitasolla informaatiovirran on havaittu olevan olennainen osa virtaviivaisten prosessien kehittämisessä. Kehitystyötä aiheen parissa on tehty, lähinnä dokumenttien säilyttämiseen ja helppoon saavutettavuuteen liittyen. Tämä kehitystyö ei kuitenkaan vastaa täydellisesti informaation liikkumiseen ja jakamiseen liittyviin ongelmiin itse yrityksen ydinliiketoiminnan, tuotannon osalta. Informaatiovirran sujuvuus on tärkeää työmailla, joilla on jatkuva tarve kommunikointiin esimerkiksi pääurakoitsijan työnjohdon sisällä sekä projektinjohdon, aliurakoitsijoiden, suunnittelijoiden, elementtitoimittajien ja muiden materiaalitoimittajien välillä.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen keskeinen tavoite on selvittää mahdollisuuksia rakennushankkeen tuotantovaiheessa esiintyvien informaatiovirtojen tehostamiseksi. Tutkimushypoteesina on oletamus, että parantamalla informaatiovirtaa eri osapuolten välillä saadaan vähennettyä haittoja, kuten hukkaa, aikatauluongelmia sekä kustannuksia. Täten tuottavuutta ja kannattavuutta saadaan parannettua. Tutkimuksen päätutkimuskysymyksenä on:

1. Kuinka parantaa rakennusvaiheen informaatiovirtaa leanin ja tietomallien avulla?

Tähän päätutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan seuraavien tarkentavien tutkimuskysymysten avulla:

2. Mitä lean- ja tietomallipohjaisia työkaluja on olemassa informaatiovirran parantamiseksi?
3. Kuinka informaatiovirtaa on hallittu kohdeyrityksen projekteissa?
4. Kuinka näitä työkaluja tulisi käyttää informaatiovirran parantamiseen eri osapuolten välillä?

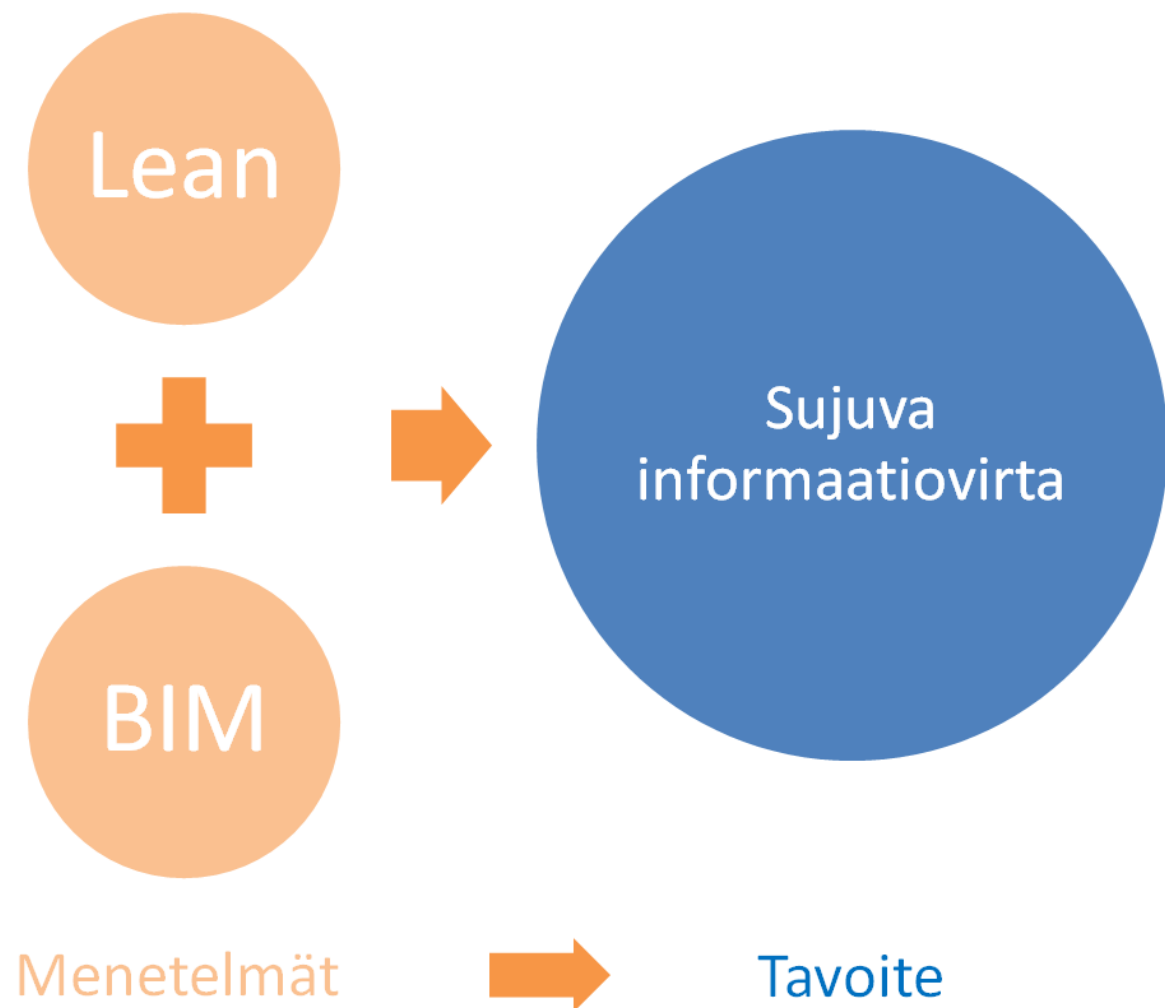
Lean-filosofian mukaisessa toiminnassa on keskeistä vähentää prosessiin liittyvää hukkaa. Informaatiovirtaan sisältyvän hukan vähentämiseksi tässä tutkimuksessa käsitellään informaation virtaamista eri osapuolten välillä sekä tutkitaan, mitä lean- ja tietomallipohjaisia menetelmiä ja työkaluja on olemassa informaatiovirran parantamiseksi ja kuinka ne vaikuttavat informaatiovirtaan. Myös ohjelmistopohjaisten työkalujen hyödyntäminen informaation virtaamisen fasilitoimisessa sisältyy tähän tutkimukseen. Nämä työkalut ja menetelmät

eivät luonnollisestikaan tarjoa kaikenkattavaa ratkaisua informaatiovirran hallitsemiseen, mutta muodostavat pohjan muutoksen aloittamiselle.

Hukan määrään pyritään vaikuttamaan tehostamalla informaation jakamista ja siihen liittyviä keinoja eri osapuolten välillä. Hukkaa ei pyritä välttämättä poistamaan kokonaan, vaan ensisijaisena tavoitteena on sen vähentäminen. Informaatiovirtaa tehostamalla pyritään parantamaan eri osapuolten välistä yhteistyötä. Tätä kautta pyritään vähentämään informaatiopuutteista välittömästi tai välillisesti aiheutuvaa hukkaa, joka johtaa esimerkiksi aikatauluongelmiin sekä ylimääräisiin kustannuksiin.

Jotta kehitysaskelia voidaan ottaa, tässä tutkimuksessa tutkitaan myös kuinka informaatiovirtoja nykyisellään hallitaan kohdeyrityksessä. Tämä nykytilannekatsaus antaa arvokasta tietoa siitä, mistä menetelmien kehittäminen tulee aloittaa.

Viimeinen tutkimuskysymys pohjautuu edellisiin ja kattaa pitkälti tutkimuksen tavoitteen. Tutkittujen menetelmien ja tutkimuksen päätavoitteen välinen suhde on kuvattu kuvassa 1. Oleellista on hahmottaa, miten tässä tutkimuksessa käsitellyt työkaluja ja metodeita tulisi käyttää kohdeyrityksessä informaatiovirran parantamiseen niin sisäisesti kuin yhteistyöosapuolten kanssa.



Kuva 1 Tutkittujen menetelmien suhde tutkimuksen päätavoitteeseen

1.3 Tutkimuksen rajaus

Tämä tutkimus käsittelee kohdeyrityksen tarpeita ja mahdollisuuksia toimintaa tehostavien työkalujen ja metodien käyttöönottoon. Tutkimus rajautuu rakentamisvaiheeseen, joka ei juuri ole riippuvainen projektien urakkamudoista. Mahdollisia suunnitteluvaiheen tiedonkuluun liittyviä tekijöitä ei siis käsitellä.

Suunnittelijat ovat kuitenkin olennaisessa osassa myös rakennusvaiheen tiedonkulkua, sillä yleensä ainakin arkkitehti ja rakennesuunnittelija tekevät katselmuksia toteutuneille työvaiheille. Useimmiten rakennusvaiheessa ilmenee myös tarvetta suunnitteluratkaisuiden tarkentamiselle. Tämä johtuu pitkälti siitä, että aikataulun tiivistämisen takia suunnitelmat eivät tyypillisesti ole täysin valmiita rakentamisvaiheen alkaessa, vaan suunnittelua tehdään osittain rakentamisvaiheen lomassa. Myös mahdolliset virheet ja ristiriidat huomataan valitettavan usein vasta työmaalla rakentamisvaiheessa. Näistä syistä johtuen informaation välitystä tutkitaan myös suunnittelijoiden ja pääurakoitsijan välillä, rajautuen kuitenkin rakentamisvaiheeseen.

Digitaalisten työkalujen osalta tämä tutkimus pohjautuu pitkälti Trimble Connect – yhteistyöalustan ja siihen liitettävien muiden ohjelmistojen tutkimiseen. Trimble Connect on käytössä kaikissa tässä tutkimuksessa käsitellyissä tapauksissa. Trimble Connectin lisäksi tutkitaan myös muita ohjelmistoja.

1.4 Tutkimusprosessi ja –menetelmät

Tässä tutkimuksessa käytetään laadullista tutkimusotetta. Tämä tarkoittaa, että tutkimuksessa hyödynnetään aiheen syvällistä ymmärtämistä määrällisen tutkimisen sijaan. Laadullinen tutkimus sopii erityisen hyvin vastatessa kysymyksiin ”miten?” ja ”kuinka?” (Yin 2009 ja Gray 2009). Tutkija on osallistunut tutkimuskohteina käytettäviin projekteihin henkilökohtaisesti oman työnsä kautta.

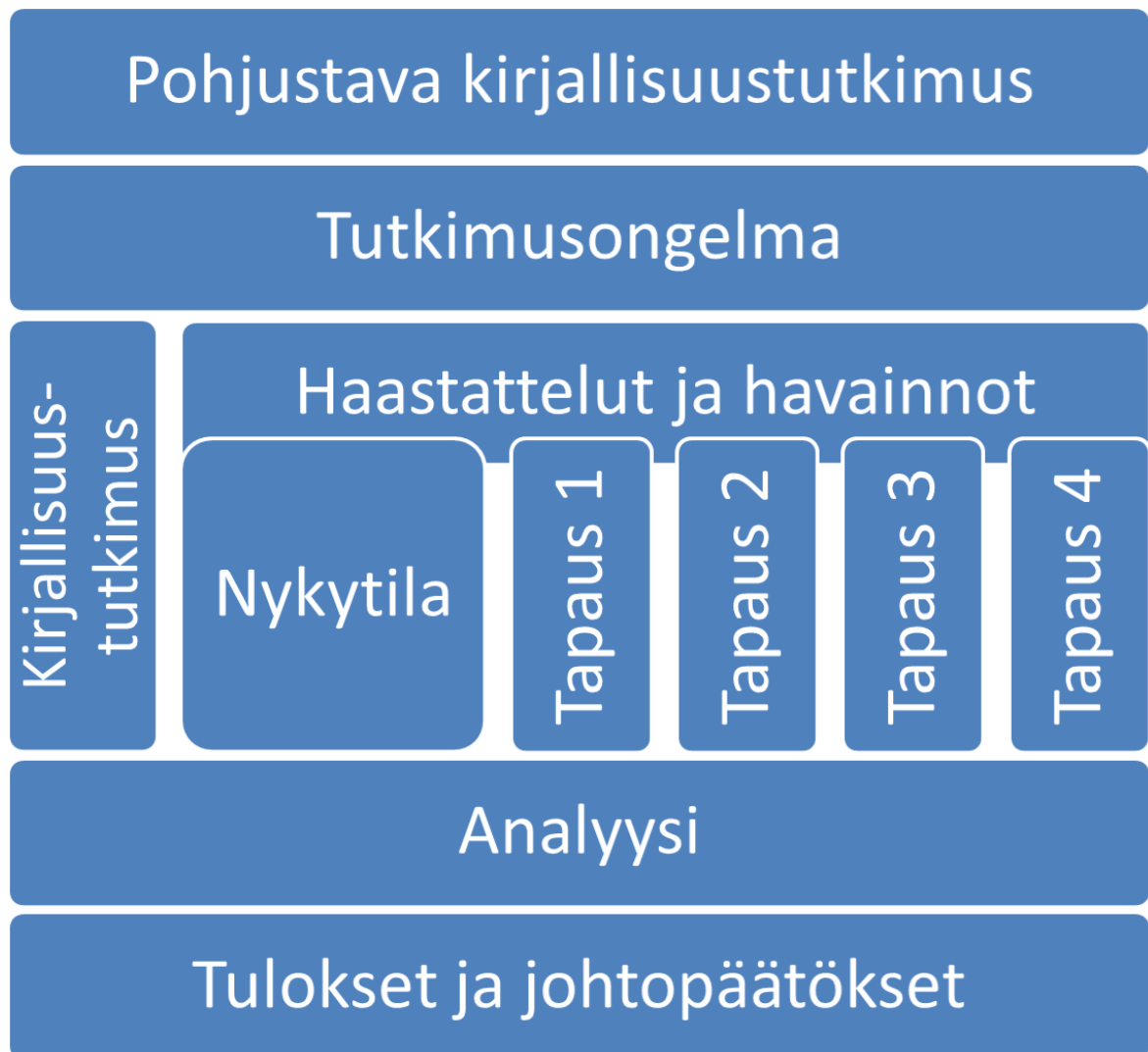
Tutkimus koostuu kirjallisuustutkimuksesta sekä tapaustutkimuksesta. Näiden tutkimusmenetelmien sisältö ja käyttö tässä tutkimuksessa on kuvailtu tässä luvussa. Kaavio tutkimusprosessista sekä siinä käytettävistä metodeista on esitetty kuvassa 2.

Aluksi tehdään pohjustavaa kirjallisuustutkimusta aiemmissa tutkimuksissa esitettyjen informaation virtaamista parantavien metodien löytämiseksi. Jotta tutkimukselle saadaan vahva pohja, myös informaatioteoriaa käsitellään alustavassa kirjallisuustutkimuksessa. Alustavan kirjallisuustutkimuksen lisäksi kirjallisuustutkimusta käytetään myös tapaustutkimuksen ja sen tulosten analysoinnin rinnalla, jotta kirjallisuustutkimusta voidaan täydentää tapaustutkimuksen alustavien tulosten perusteella. Esimerkiksi Last Planner –menetelmää ja visuaalisen ohjauksen osalta kirjallisuustutkimusta täydennettiin tapaustutkimuksen rinnalla.

Pohjustavan kirjallisuustutkimuksen jälkeen tehdään itse empiirinen tutkimus, jossa selvitetään informaatiovirran nykyistä hallintaa kohdeyrityksessä sekä sen parantamismahdollisuuksia käyttäen tapaustutkimusta. Nykyisen hallinnan kartoittaminen tehdään tapaustutkimuksen haastattelujen yhteydessä, joten haastattelua ei ole erikseen nostettu tutkimusmenetelmäksi. Myös tutkijan omia havaintoja hyödynnetään.

Tapaustutkimus on sopiva menetelmä tutkimuskysymyksiin nähden, sillä kirjallisuustutkimuksessa esiin nostettujen menetelmien kokeilu käytännössä tehdään tyypillisesti pilotoi-

malla. Tämä liittyy vahvasti kyseisiin tapauksiin, joten tapaustutkimus on tutkimusmenetelmänä sopiva tähän tutkimukseen. Lisäksi tapaustutkimus pyrkii vastaamaan kysymykseen ”*kuinka?*” (Yin 2009 ja Gray 2009), joka on vahvasti edustettuna tutkimuskysymyksissä.



Kuva 2 Tutkimuksen kulku

1.4.1 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimusta käytetään aiheesta aikaisemmin tehdyn tutkimuksen ja muun kirjallisen tuotannon kartoittamiseksi. Näin saadaan muodostettua tukeva pohja tälle diplomityölle ja laajennettua tutkijan asiantuntemusta aiheesta. Kirjallisuustutkimuksen tärkeä tavoite on myös keskeisten käsitteiden määrittely, jotta tutkimuksessa käytetty käsitteistö vastaa yleisesti käytettyä termistöä. Tämän lisäksi kirjallisuustutkimus nostaa esiin lukijalle relevanttia kirjallisuutta aiheen ympäriltä. Lähdeviittausten kanssa näitä voi käyttää lisäaineistona aiheeseen liittyen. Pohjustavan kirjallisuustutkimuksen tulokset on esitetty luvussa 2.

1.4.2 Tapaustutkimus

Tapaustutkimusta käytetään selvittämään jonkin asian ja sen kontekstin välistä yhteyttä sen sijaan, että tutkittaisiin suurempia kokonaisuuksia. Tämän vuoksi sen tarkoituksena ei ole

saavuttaa kaikenkattavia yleistyksiä. Tapaustutkimus vaatii datan keräämistä useista tiedonlähteistä, joskin tutkijan täytyy rajata näitä jollain tavalla liian suuren tietomäärän välttämiseksi. (Gray 2009)

Tapaustutkimus vastaa parhaiten tutkimuskysymyksiin ”Kuinka?” ja ”Miksi?” (Yin 2009 ja Gray 2009). Sitä voidaan käyttää sekä kvalitatiivisena että kvantitatiivisena metodina (Yin 2003), mutta useimmiten sitä käytetään kvalitatiiviseen tutkimukseen (Gray 2009).

Tässä tutkimuksessa käytetään useiden kohteiden tapaustutkimusta. Tämä tarkoittaa sitä, että erillisistä tapauksista tehdään erilliset tutkimukset ja kuvaukset, jonka jälkeen näiden tuloksia peilataan toisiinsa ja kartoitetaan, ovatko ne yhdenmukaisia (Gray 2009).

1.4.3 Tutkimuskohteiden valinta

Tässä tutkimuksessa tapaukset valitaan kohdeyrityksen eri projekteista, joissa kussakin on käytössä tutkimuksen kannalta olennainen menetelmä informaatiovirran hallitsemiseen eri rakentamisvaiheissa. Tapauksia tutkitaan sekä ennen informaationhallintamenetelmien käyttöönottoa että sen jälkeen. Ne sisältävät erilaisia urakkamuotoja sekä kohteita, mukana on niin asuin- kuin toimitilarakentamistakin. Valinnat pohjautuvat informaatiovirran hallintaan käytettyihin menetelmiin. Kaikissa tapauksissa on käytetty tietoteknistä ratkaisua yhteistyöalustana. Lisäksi lean-pohjaisia metodeita on kokeiltu tapauksissa. Tapaukset on esitetty taulukossa 1.

Tapauksiin liittyvät haastattelut suoritetaan kohteiden vastaaville mestareille sekä muille olennaisesti informaatiovirtojen hallintaan sekä kussakin tapauksessa testattavan menetelmän käyttöön osallistuneille henkilöille. Vastaavien mestareiden näkemykset tukevat työmaan kokonaiskuvan muodostamista, sillä vastaavalla mestarilla on laajin näkemys ja vastuu työmaan toiminnasta. Informaatiovirtojen hallintaan tai testattavan menetelmän käyttöön osallistuva toimihenkilö puolestaan edustaa tarkempaa näkemystä kyseessä olevasta asiasta.

Haastatteluissa pyritään selvittämään kohdeyrityksen informaatiovirran hallinnan nykytilaa avainhenkilöiden näkökulmasta sekä mielipiteitä ja näkemyksiä liittyen tapaustutkimuksen avulla tutkittuihin menetelmiin. Tässä tutkimuksessa haastateltiin yhteensä kahdeksaa henkilöä, kahta kustakin tapaustutkimuskohteesta.

Taulukko 1 Tutkimuksessa käsitellyt tapaukset

Tapaus	Luku	Tiedonkulun tutkimuskohde	Rakennuksen käyttötarkoitus	Sijainti	Pääasiallinen tiedonkeruumenetelmä
1	4.1	Aikataulutus	Asuinrakennus	Vantaa	Haastattelu
2	4.2	Elementtiasennus	Asuin- ja toimitilarakennus	Espoo	Haastattelu, empiirinen havainnointi
3	4.3	IV-konehuoneen asennus	Toimitilarakennus	Vaasa	Haastattelu
4	4.4	Elementtitilaukset	Asuinrakennus	Helsinki	Haastattelu, empiirinen havainnointi

Tapaustutkimuksen tulee esitellä lukijalle kohde riittävän laajasti, jotta hän voi luoda itselleen riittävän kokonaiskuvan hankkeesta. Tämän vuoksi kukin tapauksista esitellään niitä käsittelevien kappaleiden aluksi.

1.4.4 Tiedonkeruumenetelmät

Tässä tutkimuksessa käytetään useita eri tiedonkeruumenetelmiä, kuten Yin (2009) ja Gray (2009) suosittelevat. Näin saadaan muodostettua laajempi tietopohja tapauksien taakse.

Yin (2009) nimeää kuusi tiedonlähdettä, joita tapaustutkimuksessa voidaan käyttää hyväksi: dokumentaation, taltiot, haastattelut, suorat havainnot, osallistujien tarkkailun sekä fyysiset artefaktit (ihmisen tekemät esineet). Tiedonlähteet on esitetty taulukossa 2, jossa tähän tutkimukseen liittyvät tiedonlähteet on korostettu.

Dokumentaatio

Dokumentaatio on oleellinen osa lähes mitä tahansa tapaustutkimusta. Tässä tutkimuksessa sitä on helppo käyttää, sillä tutkijalla on saatavilla runsaasti kohteisiin liittyvää dokumentaatiota, eikä sen saatavuutta ole rajoitettu. Tätä dokumentaatiota ovat esimerkiksi aikataulut, sähköpostit, kalenterimerkinnät, muistiot ja suunnitelmat. Myös ”samasta tapauksesta” tehdyt tutkimukset, uutiset jne. toimivat hyvin dokumentaationa, joskaan tässä tutkimuksessa samasta tapauksesta ei ole olemassa suoraa tutkimustietoa. Yinin (2009) mainitsema vahvuudet toteutuvat, kun taas heikkoutena voidaan pitää puolueellisuutta, jota tutkijan tulee pyrkiä välttämään.

Taltiot

Taltiot liittyvät arkistoihin, joita ylläpitävät useat eri organisaatiot. Ne ovat usein kyseisen järjestön tiettyjä dokumentteja, kuten tilastotietoa, pöytäkirjoja, budjetteja, tai tutkimusdataa. Tätä tiedonlähdetyyppiä ei käytetä tässä tutkimuksessa, sillä aiheesta ei ole merkittävää määrää taltioitua tietoa.

Haastattelut

Haastattelu on yleisesti käytetty tiedonkeruumenetelmä. Sitä voidaan käyttää diskreettien tietojen keräämiseksi, mutta myös ihmisten mielipiteiden, asenteiden, näkemysten tai tietämyksen selvittämiseen. Haastattelutilanne voi vaihdella tavanomaisesta keskustelusta tiukasti strukturoituun haastatteluun, jossa kysymykset on määritelty etukäteen ja jossa käydään läpi ainoastaan nämä kysymykset vastauksineen. Ensin mainittua kutsutaan strukturoimattomaksi haastatteluksi, kun taas jälkimmäistä kutsutaan strukturoiduksi haastatteluksi. Tässä tutkimuksessa käytetään näiden välimuotoa, puolistrukturoitua haastattelua.

Puolistrukturoidussa haastattelussa haastattelija on valmisteellut listan kysymyksiä, joita hän käyttää haastattelun ohjaamiseen. Kysymyksiä ei kuitenkaan välttämättä kysyä aina samassa järjestyksessä, eikä kaikkia kysymyksiä ole välttämätöntä kysyä ollenkaan. Toisaalta haastattelijalla on vapaus kysyä jatkokysymyksiä liittyen haastateltavan antamiin vastauksiin. Kysymyslista siis toimii löyhänä runkona haastattelulle, mutta ei sinänsä velvoita mihinkään. Kaikissa tässä diplomityössä esiintyvien tapausten haastatteluissa käytetään samaa kysymyspohjaa, joka on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 2 Kuuden tiedonlähteen vahvuudet ja heikkoudet (Yin 2009). Tässä tutkimuksessa käytetyt tiedonlähteet on korostettu.

Tiedonlähde	Vahvuudet	Heikkoudet
Dokumentaatio	<ul style="list-style-type: none"> • Vakaa – voidaan tarkastella toistuvasti • Huomiota herättämätön – ei luotu tapaustutkimustarkoituksessa • Täsmällinen – sisältää tapausten täsmälliset nimet, maininnat ja yksityiskohdat • Laaja kattavuus – pitkä aikajänne, useita tapauksia ja puitteita 	<ul style="list-style-type: none"> • Saatavuus – voi olla hankala löytää • Puolueellinen valikoivuus, jos kokoelma on vajaa • Raportoinnin puolueellisuus – heijastelee tekijän puolueellisuutta • Pääsy – voi olla tahallisesti estetty
Taltiot	<ul style="list-style-type: none"> • [Samat kuin dokumentaatiolla] • Tarkka ja yleensä kvantitatiivinen 	<ul style="list-style-type: none"> • [Samat kuin dokumentaatiolla] • Pääsy voi olla rajoitettu yksityisyyden takia
Haastattelut	<ul style="list-style-type: none"> • Kohdistettu – keskittyy suoraan tapaustutkimuksen aiheisiin • Oivaltava – tarjoaa havainnollisia päätelmiä ja selityksiä 	<ul style="list-style-type: none"> • Poikkeamat johtuen epäselvästi esitetyistä kysymyksistä • Vastausten puolueellisuus • Väärin muistamisesta johtuva epätarkkuus
Suorat havainnot	<ul style="list-style-type: none"> • Todellisuus – kattaa tapahtumat reaaliajassa • Kontekstuaalinen - kattaa tapauksen kontekstin 	<ul style="list-style-type: none"> • Aikaavievä • Valikoivuus – laaja kattavuus ilman useampaa tarkkailijaa • Refleksiivisyys – tapaus voi edetä eri tavalla havainnoinnista johtuen • Kustannukset - tarkkailijoiden työtunnit
Osallistujien tarkkailu	<ul style="list-style-type: none"> • [Samat kuin suorilla havainnoilla] • Oivaltava ihmistenvälisen käytöksen ja motiivien suhteen 	<ul style="list-style-type: none"> • [Samat kuin suorilla havainnoilla] • Puolueellisuus tarkkailijan manipuloinnista johtuen
Fyysiset artefaktit	<ul style="list-style-type: none"> • Oivaltava kulttuurisiin ominaisuuksiin • Oivaltava teknisiin toimenpiteisiin 	<ul style="list-style-type: none"> • Valikoivuus • Saatavuus

Haastattelut muodostavat olennaisen osan tätä tutkimusta. Yinin (2009) esittämiä heikkouksia vältetään käyttämällä puolistrukturoituja haastatteluita, jolloin haastatteluiden tarkoitus ei ole suoraan olla keskenään yhteneväisiä ja vertailukelpoisia. Haastattelut ovat tärkeitä, sillä informaatiovirta tapahtuu ihmisten välillä ja heidän kokemuksiaan on vaikea kartoittaa muilla tavoin.

Haastattelut suoritetaan kohteiden vastaaville mestareille sekä muille olennaisesti informaatiovirtojen hallintaan sekä kussakin tapauksessa testattavan menetelmän käyttöön osallistuneille henkilöille. Haastatteluissa pyritään siis selvittämään kohdeyrityksen informaatiovirran hallinnan nykytilaa avainhenkilöiden näkökulmasta sekä mielipiteitä ja näkemyksiä liittyen tapaustutkimuksen avulla tutkittuihin menetelmiin. Tässä tutkimuksessa haastateltiin yhteensä kahdeksaa henkilöä, kahta kustakin tapaustutkimuskohteesta.

Haastatteluissa on aina vähintään kaksi osapuolta: haastattelija ja haastateltava. Kumpaakin roolia voi edustaa useampikin henkilö, mutta tässä tutkimuksessa tutkija haastattelee haastateltavat yksin. Sen sijaan haastateltavia on yhdessä haastattelussa vaihtelevasti yksi tai kaksi.

Haastattelijan tehtävänä on kysymysten esittämisen tai keskustelun ohjaamisen lisäksi dokumentoida haastattelu jollakin tavalla. Tapoja on lukuisia, esimerkiksi Grayn (2018 s. 378-381) mainitsevat:

- Videointi,
- äänitys,
- muistiinpanot ja
- litterointi joko suoraan tai äänitteestä.

Tämän tutkimuksen haastattelut dokumentoidaan kahdella eri tavalla. Haastattelija tekee saaduista vastauksista tutkimuksen kannalta oleellisista asioista muistiinpanot. Haastattelut myös äänitetään, jolloin purkuvaiheessa mahdollisesti esiintyvissä epäselvissä tilanteissa voidaan palata haastatteluun ja tarkistaa epäselvä asia. Haastateltavilta kysytään lupa haastattelun äänittämiseen. Mikäli lupaa ei saada, toimii dokumentointitapana ainoastaan haastattelijan tekemät muistiinpanot.

Suorat havainnot

Loput tämän toimintatutkimuksen tiedonlähteistä ovat suoria havaintoja tapauksina toimivien projektien toiminnasta. Tutkija osallistuu eriasteisesti kaikkiin projekteihin, osaan taustavaikuttajana, mutta osaan myös käytännönläheisemmin. Suorien havaintojen käyttäminen tiedonlähteenä vaatii aikaa, joten tutkimusta ei voida viedä läpi erityisen nopeasti. Tapauksiin ei aktiivisesti pyritä olemaan vaikuttamatta, joten tutkimus taittuu hieman toimintatutkimuksen suuntaan.

Osallistujien tarkkailu

Suorat havainnot viittaavat kokonaisuuden havainnoimiseen, joten Yinin (2009) erittelemä osallistujien tarkkailu ei tule tarpeeseen tässä tutkimuksessa. Informaatiovirta tapahtuu aina useamman osapuolen välillä, joten yksittäisten osallistujien tarkkailu ei ole hedelmällistä. Sen sijaan tarkastellaan informaatiovirtaa edellä mainittujen suorien havaintojen kautta.

Fyysiset artefaktit

Viimeisenä Yin (2009) listaa tiedonlähteenä fyysiset artefaktit. Artefakti on jokin ihmisen luoma esine tai kappale. Tässä tutkimuksessa itse fyysisellä lopputuloksella ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, sillä hypoteesi on, että heikko informaatiovirta aiheuttaa haittoja, kuten hukkaa, aikatauluongelmia sekä kustannuksia. Mahdolliset heikosta informaatiovirrasta johtuvat viivästykset ja kustannukset eivät ole selvästi nähtävissä lopputuotteesta, eikä myöskään sellaisten laatuongelmien, joita työnjohto tai valvoja eivät ole huomanneet ja dokumentoineet, etsiminen ole hedelmällistä tämän tutkimuksen kannalta.

1.4.5 Analysointimenetelmät

Tapausten tiedonkeruun jälkeen haastatteluaineistot puretaan ja niistä muodostetaan kokonaiskuva kuhunkin tapaukseen liittyen yhdessä dokumentaation sekä tutkijan omien kokemusten ja tietojen pohjalta. Eri tapauksissa käytettyjä metodeita ja niiden toimivuutta arvioidaan kirjallisuustutkimuksen pohjalta kehitettyjen kriteerien pohjalta.

Näin saadaan muodostettua käsitys siitä, mitä näistä menetelmistä olisi jatkossa järkevää käyttää kohdeyrityksen projekteissa. Lisäksi saatuja tuloksia peilataan kirjallisuustutkimuksen tuloksiin. Tätä kautta saadaan nostettua esiin ehdotuksia uusien menetelmien käytöstä sekä aiheita jatkotutkimukselle aiheen parissa.

Koska tutkimuksessa käytetään kvalitatiivista tutkimusotetta, analysoidaan tuloksia myös kvalitatiivisin menetelmin. Informaatiovirrasta ja sen laatutekijöistä muodostetaan ennakkokäsitys kirjallisuustutkimukseen pohjautuen. Käytännössä kunkin tapauksen tuloksia verrataan kirjallisuuden pohjalta koottuihin määritelmiin informaatiovirran ominaisuuksista ja siitä, onko informaatiovirta parantunut näiden määritelmien perusteella.

Tätä tulosten vertaamista ennakkokäsitykseen kutsutaan englanniksi termillä ”Pattern Matching” (Yin 2009). Mikäli tapausten tulokset vastaavat ennakoituja tuloksia, voidaan todeta että riippuvuus tapauksessa empiirisesti havainnoidusta tekijästä oli vahva. Tässä tutkimuksessa kokeiltujen metodien vaikutus informaatiovirtaan voidaan siis todeta vertaamalla informaatiovirtojen tehokkuutta määritelmällisesti hyvään informaatiovirtaan.

2 Teoreettinen tausta

Tässä luvussa käsitellään kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Nämä tulokset muodostavat pohjan tälle diplomityölle. Kirjallisuustutkimuksen menetelmä on kuvattu luvussa 1.4.1.

Tämä diplomityö käsittelee informaatiovirtojen hallintaa. Tästä syystä informaatiovirran käsitteen ymmärtäminen on keskeistä tämän diplomityön kulun ja tulosten kannalta, joten perusasiat informaatioteorioista käydään lävitse. Empiirisen tutkimuksen tuloksien tulkintaa varten määritellään informaatiovirran ominaisuuksia ja hyvälle informaatiovirralla tyypillisiä piirteitä.

Tämän jälkeen käsitellään leania ja sen soveltamista rakennusteollisuuteen. Tarkoituksena on asettaa tämä tutkimus oikeaan kontekstiin ja tarjota lukijalle kompakti yhteenveto siitä, mistä lean-rakentamisessa on kyse. Lyhyen esittelyn jälkeen syvennytään lean-pohjaisiin informaatiovirran hallintaan käytettäviin metodeihin. Tähän osioon on suodatettu valikoima menetelmiä aikaisemmista tutkimuksista perustuen niiden sovellettavuuteen informaatiovirtojen hallinnassa.

Sitten esitetään aiempaa tutkimusta tietomallintamisesta ja sen käyttämisestä informaatiovirtojen hallintaan. Lisäksi esitellään löydettyjä yhteyksiä lean-filosofian ja tietomallintamisen välillä. Nämä yhteydet ovat avainasemassa uusia digitaalisia työkaluja etsiessä, sillä tietomallintaminen on avainasemassa monien ohjelmistoratkaisuiden takana.

Viimeisessä osiossa esitetään yhteenveto aikaisemmasta tutkimustiedosta. Oleelliset löydökset empiiristä tutkimusta ajatellen käydään läpi.

2.1 Informaatiovirta

Informaatiovirta kuvaa informaation eli tiedon liikkumista eri osapuolten välillä. Osapuolina voi olla ihmisiä tai järjestelmiä. Informaatio voi siis virrata ihmisten välillä, järjestelmien välillä, ihmisiltä järjestelmiin tai päinvastoin. Virta voi myös olla kahdensuuntaista, eli virrata osapuolten välillä molempiin suuntiin.

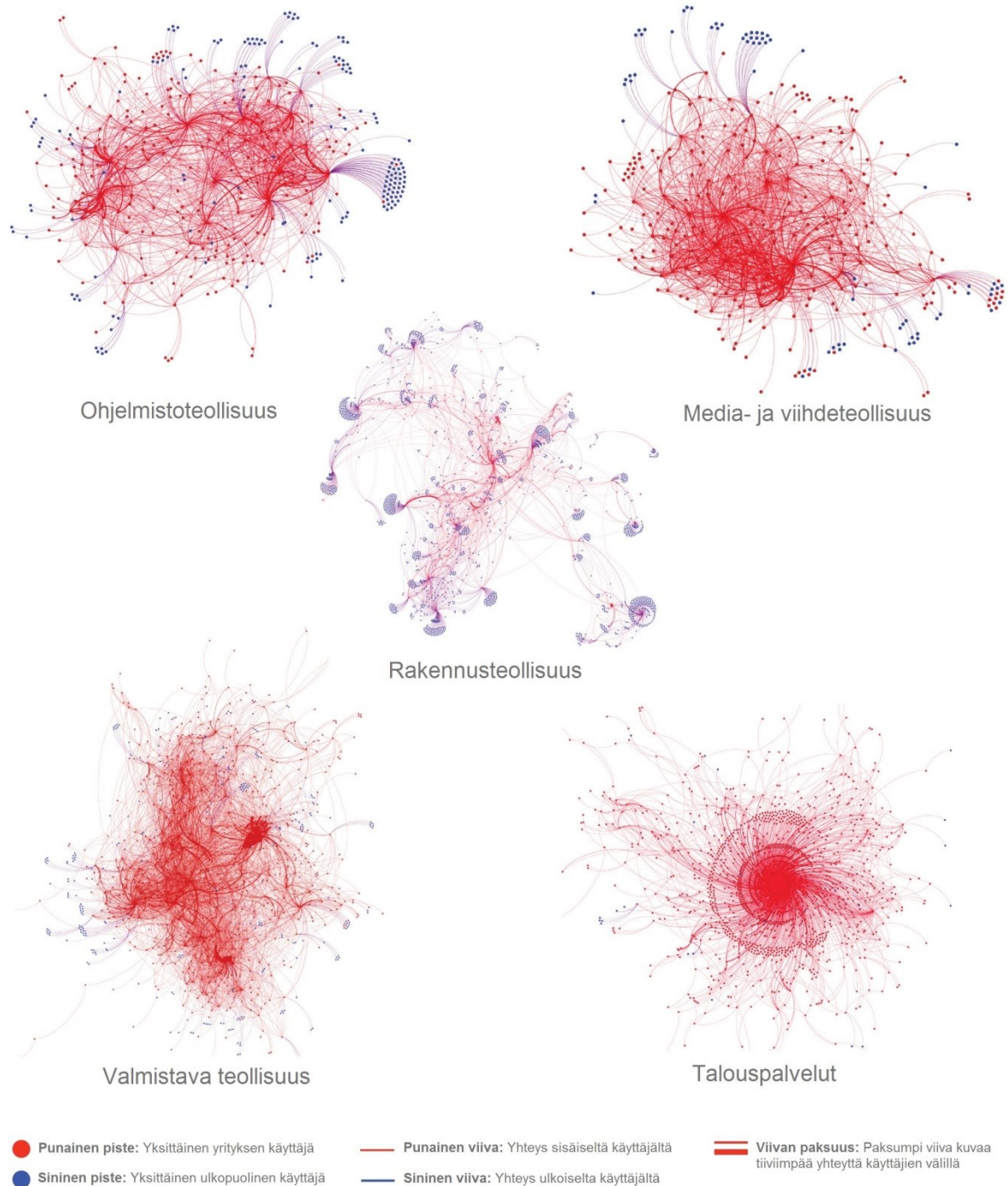
Informaatiovirrat voidaan jakaa pääpiirteittäin kahteen kategoriaan: suoraan ja epäsuoraan informaatiovirtaan. Chibba ja Rundquist (2004) esittävät tutkimuksessaan suorana informaationa informaation, joka tarvitaan tuotteen tai palvelun tuottamiseen. Tämä informaatiovirta liittyy suoraan fyysiseen materiaalivirtaan. (Chibba ja Rundquist, 2004) Tällaista informaatiota ovat rakennusprojekteissa muun muassa tilaajan vaatimukset, suunnitelmat ja aikataulut, kun taas epäsuorana informaationa voidaan pitää tietoa esimerkiksi markkinoiden kehittämisestä tai tulevaisuuden tarpeista.

Chaffe (2001) tuo esille, että vaivaton pääsy korkealaatuiseen informaatioon on tärkeää organisaatioiden strategisten tavoitteiden kannalta. Oikea-aikainen informaatio parantaa strategisen suunnittelun tulosta, tukee järkevää päätöksentekoa sekä auttaa hallitsemaan meneillään olevia toimintoja.

Organisaatioiden informaatiovirrassa ongelmana on usein se, että informaatio ei saavuta oikeaa kohdetta. Tämän lisäksi ongelman muodostaa se, että vaikka informaatio olisikin saatavilla oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa, se ei välttämättä ole saavutettavissa tehok-

kaasti ja oikeana, sillä informaatio vääristyy liikkeessaan useiden osapuolten kautta. (Chibba ja Rundquist 2004)

The Boxin (2014) tutkimuksessa tutkittiin yli 300 yrityksen informaatiovirtoja ohjelmisto-, media- ja viihde- sekä rakennusteollisuudessa sekä valmistavan teollisuuden ja talouspalvelujen osalta. Tutkimuksen mukaan rakennusalan informaatioverkosto on huomattavasti hajanaisempi kuin muilla tutkituilla teollisuudenaloilla, kuten käy ilmi kuvasta 3.



Kuva 3 Informaatiovirrat eri teollisuudenaloilla (The Box 2014)

Mukaddes ym. (2010) ovat kehittäneet tutkimuksessaan toimitusketjun informaatiovirtaa ja sen hallintaa. ”*No product flows until information flows.*” Tämä lainaus heidän tekstistään tarkoittaa vapaasti käännettynä sitä, että informaatiovirta toimii mahdollistajana tuotevirroille ja on siten tärkeässä roolissa tuotteen toimitusketjun kokonaisuuden kannalta. Rakennusprojektit voidaan nähdä samaan tapaan tuotevirtana kuin Mukaddesin ym. tutkimuksessa kuvattu toimitusketju. Toimiva informaatiovirta on siis elintärkeä osa rakennusprojektin onnistunutta toteutusta.

Zeng, König ja Teizer (2017) tutkivat toimitusten suunnittelua tietomallipohjaista informaationhallintaa hyödyntäen. Heidän tulostensa perusteella tulevien toimitusten suunnittelu tietomallipohjaisesti kannattaa, sillä sen avulla saadaan muodostettua reaaliaikaisempi ja eheämpi tietopohja päätösten tueksi. He havaitsivat lisäksi, että mallipohjaisuus ei häirinnyt työmaaorganisaation normaalia työskentelyä.

Informaation kulku pohjautuu yhä enenevässä määrin sähköiseen tiedonsiirtoon. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi paperimuotoinen tiedonsiirto on vähenemässä useilla teollisuudenaloilla sähköisen tiedonsiirron ollessa huomattavasti nopeampi ja turvallisempi tapa jakaa tietoa muille ihmisille ja organisaatioille (Mukaddes ym. 2010). Rakennusalalla tämä trendi ei kuitenkaan ole yhtä vahva ja etenkin työmaatoiminnassa paperisilla dokumenteilla on edelleen hyvin vahva jalansija (Opitz, Windisch ja Scherer 2014).

Harstad ym. (2015) ovat tutkineet informaatiovirran parantamista mobiililaitteiden käytöllä rakennusprojekteissa. Heidän mukaansa nykyinen teknologia tarjoaa mahdollisuuksia nopeaan ja välittömään tiedonsiirtoon sekä vähentää informaatiokatkoksia ja informaation häviämistä projekteissa. Mobiililaitteiden käyttö parantaa tiedonkulkua suunnittelijoiden ja toteuttajien välillä ja vähentää hukkaa, joka johtuu väärän tiedon pohjalta tehdyistä rakennustöistä. Mobiililaitteiden käytössä informaatiovirran hallintaan nähdään rajoitteita, joita ovat esimerkiksi laitteiden ja ohjelmistojen hankinnan ja ylläpidon hinta sekä tarve vahvalle verkkoyhteydelle (Harstad ym. 2015). Suomessa internet-yhteyden laatu on kuitenkin varsin hyvä rakennuspaikoilla. Joidenkin infrahankkeiden osalta verkkoyhteydessä saattaa kuitenkin olla haasteita.

Informaatiovirroilla on siis tiivistetysti seuraavia ominaisuuksia:

- Virtaus voi tapahtua ihmisten välillä, järjestelmien välillä tai ihmisen ja järjestelmän välillä.
- Virtaus voi olla yhden- tai kahdensuuntaista.
- Virtaus voidaan jakaa kahteen kategoriaan: suoraan ja epäsuoraan informaatiovirtaan.
- Informaation kulkemiseen voidaan käyttää useita eri välittäjiä, esimerkiksi sähköisiä, paperisia tai suullisia menetelmiä.
- Alati yleistyvien sähköisten menetelmien kohdalla on lukuisia eri käyttöliittymiä samaan informaatioon.

Tämän tutkimuksen kannalta oleellista on, millainen informaatiovirta todellisuudessa on hyvää ja kuinka se määritellään. Tässä tutkimuksessa hyvä informaatiovirta määritellään seuraavin kriteerein:

Hyvä informaatiovirta

- on vaivattomasti ja tehokkaasti saavutettavissa,
- on korkealaatuista ja virheetöntä,
- on oikea-aikaista ja
- saavuttaa oikean kohteen.

2.2 Lean informaatiovirtojen hallinnassa

Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi mitä lean on ja miksi sille on kysyntää myös rakennusalailla. Ensin esitetään hyvin tiivis kuvaus leanista, jotta lukija saa käsityksen, mistä tässä työssä puhutaan. Kuvauksen ei ole tarkoitus olla kaikenkattava, mutta perustieto leanista ja sen alkuperästä esitetään. Tämän työn kannalta oleellista on informaatiovirtojen yhteys lean-filosofiaan.

Tämän jälkeen esitetään rakennusalan tuottavuuden vertailua muihin teollisuudenaloihin ja tätä kautta syy sille, että tuottavuuden parantamiselle ja tästä seuraten myös leanille on olemassa selkeä tarve muiden alojen lisäksi myös rakennusalailla. Lopuksi käydään vielä läpi leanin soveltamista rakennusalaalle, siitä tehtyä tutkimusaineistoa sekä siihen liittyviä toimijoita ja yhteisöjä.

2.2.1 Mitä on lean? – Lyhyt kuvaus lean-filosofiasta

Leanin kantava ajatus on tehdä enemmän vähemmällä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikki käytetyt resurssit, kuten esimerkiksi työvoima, välineet, aika ja tila, tähtäävät lisäarvon tuottamiseen. Lisäksi tunnistetaan arvon tuottamista tukeva työ (Haapasalo ja Merikallio 2009). Mikäli resurssit eivät tuota lisäarvoa, ne tuottavat hukkaa (toisinaan käytetään myös japaninkielistä termiä *muda*). Eri hukkatyyppejä on käsitelty luvussa 2.2.2. (Kenley ja Seppänen 2010)

Valmistavan teollisuuden prosesseissa on hyödynnetty jo pitkään lean-filosofiaa. Womack, Jones ja Roos (1990) sekä Womack ja Jones (2003) tutkivat japanilaisen autoteollisuuden kehitystä ja kehittivät tutkimuksissaan termin lean. Filosofia pohjautuu pitkälti Toyotan johtajien Taiichi Ohnon ja Eiji Toyodan kehittämiin tuotantomenetelmiin. Leania kutsutaan myös nimellä Toyota Production System (TPS) (Kenley ja Seppänen 2010), eli Toyotan tuotantojärjestelmä.

Yksi leanin keskeisistä periaatteista liittyy tehokkuutta parantavien menetelmien käyttöön (Koskela 2004) ilman että lopullisen tuotteen laatu kärsii (Howell 1999). Tähän liittyy oleellisesti myös *jatkuva parantaminen*, eli se, että tuotantoprosessia parannellaan jatkuvasti kertyvän kokemuksen perusteella.

2.2.2 Hukkatyypit

Alkujaan Taiichi Ohnon (1988) tuotantojärjestelmä tunnisti seitsemän eri hukkatyyppiä, mutta näihin on myöhemmin esitetty lisättäväksi hukat ”Making-do” (Koskela 2004) ja tietotaidon väärinkäyttö (O’Connor ja Swain 2013). Nämä huomioonottaen muodostuu yhdeksän hukan eri tyyppiä:

- Kuljettaminen, eli tavaroiden tarpeeton siirtäminen;
- varastointi, eli varastojen huono hallinta, joka johtaa liian suuriin varastoihin;
- liikkuminen, eli ihmisten tarpeeton liikkuminen esimerkiksi työpisteestä tai työkaluista johtuen;
- odottaminen, eli resurssien (ihmiset tai materiaalit) odottaminen johtuen tiedon, tekijän tai tehtävän puutteesta;
- ylituotanto, eli tarpeettoman suuri tuotanto tarpeeseen nähden;
- yliprosessointi, eli vaatimusten ylittäminen, joka johtaa kasvaneisiin kustannuksiin;
- virheet, eli uudelleen tekeminen ja korjaaminen;
- Making-do, eli tehtävän aloittaminen ilman edellytyksiä sen loppuunsaattamiseksi (esim. materiaalit, työvälineet, tekijät, olosuhteet jne.) ja
- tietotaidon väärinkäyttö, eli ihmisten tietotaitoa ei hyödynnetä.

Eri hukkatyyppien taustalla voi nähdä informaation ja sen virtaamisen merkityksen. Kun tarkastellaan rakennusprojektien tuotantovaiheita, informaatiiovirran vaikutus hukan esiintymiseen tutkijan näkökulmasta on tietyillä hukkatyypeillä merkittävämpi kuin toisilla.

Kuljettaminen, eli tavaroiden siirtely liittyy työmailla pitkälti toiseen hukkatyyppiin, varastointiin. Tämä johtuu siitä, että rakennustyömaalle ominaista on, että tuote pysyy paikallaan ja materiaalit siirtyvät tuotteen luo, eivätkä päinvastoin, kuten valmistavassa teollisuudessa yleensä on tapana.

Varastoinnin tarve itsessään syntyy samoista syistä kuin valmistavan teollisuuden puolella, eli tuotantoa hidastavien epävarmuustekijöiden kompensoimisesta varaston avulla. Lisäksi useiden työvaiheiden samanaikaisuus aiheuttaa helposti sen, että kunkin työvaiheen työntekopaikoilla, eli ”mestoilla”, on jonkin muun työvaiheen varasto. Jotta työvaihetta päästään tekemään, tulee varasto siirtää muualle, mahdollisesti jonkin seuraavan työvaiheen tielle. Tästä aiheutuu turhaa materiaalilogistiikkaa, eli hukkaa.

Näistä molempia pystytään hallitsemaan informaation kulkua parantamalla. Varastointia voidaan vähentää, mikäli materiaalin saapuminen työmaalle on tarkemmin ajoitettua. Tämä taas vaatii tarkempaa tietoa materiaalitarpeesta sekä työnjohtajalle että hänen välittämäänsä materiaalitoimittajalle. Myös varastojen sijoittelu niin sijainniltaan kuin ajallisestikin on mahdollista optimoida paremmin, kun tieto muista työvaiheista on helposti saatavilla.

Suoraan informaatiiovirran puutteellisuudesta aiheutuvia hukkia ovat liikkuminen ja odottaminen. Kuten aiemmin mainittiin, rakennustyömaalle tyypillistä on, että tuote pysyy paikallaan, kun taas materiaalit ja tekijät liikkuvat. Tekijät liikkuvat työmailla paljon senhetkistä työpisteeltään noutamaan tarvitsemiaan materiaaleja ja työkaluja, mutta myös hakemaan piirustuksia tai ohjeita työnjohdolta. Mikäli työnjohto ei juuri sillä hetkellä ole tavoitettavissa, astuu mukaan myös toinen hukkatyyppi, odottaminen. Näitä kahta pystytään suoraan hallitsemaan informaatiovirtaa parantamalla.

Lopputuotetta ajatellen ylituotantoa tai tuotteen yliprosessointia ei juuri tapahdu rakennustyömailla, sillä sopimuksissa on useimmiten määritelty vaadittu laatutaso esimerkiksi RYL:n (Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset) mukaiseksi. Lopputuotteen muodostavissa osaprosesseissa ylituotantoa ja yliprosessointia voi kuitenkin tapahtua, esimerkiksi liian pitkälle viedyt työvaiheet liian aikaisessa vaiheessa. Tämä ei kuitenkaan yleensä johdu puutteista informaatiovirrasta, vaan esimerkiksi pyrkimyksestä aliurakan valmistumiseen mahdollisimman nopeasti.

Rakennusvirheet johtuvat tyypillisesti joko suunnitelmapuutteesta tai tekijän tarkoituksellisesta tai tietotaidon puutteesta johtuvasta poikkeamisesta suunnitelmasta. Suunnitelmapuutteista johtuvia virheitä pystytään vähentämään informaatiovirtaa parantamalla, mutta suunnitelmasta poikkeaminen ei läheisesti liity informaatiovirtaan. Rakentamisen laatuongelmat ovat olleet runsaasti esillä julkisuudessa. Näissä usein laatuongelmat yhdistetään suoraviivaisesti rakennusvirheisiin. Tämä ei täysin pidä paikkansa, mutta valtaosassa uuti-soituja laatuongelmia kyse on ollut nimenomaan rakennusvirheistä. Koskelan (2000) mukaan heikko laatu aiheuttaa 10-20 % rakennusprojektin kustannuksista. Tämän takia laadun parantaminen rakennusprojekteissa johtaisi asiakastyytyväisyyden kasvun lisäksi myös merkittävästi pienempiin kustannuksiin.

Making-do on erittäin yleistä rakennushankkeissa. Sitä esiintyy rakentamisvaiheen lisäksi suurissa määrin myös muissa rakennusprojektin osissa. Rakennusvaiheessa tehtäviä joudutaan usein aloittamaan aikataulupaineesta johtuen ennen kuin edellytykset vaiheen loppuunsaattamiseksi ovat olemassa. Tästä johtuen jopa puolet aikataulutetuista tehtävistä jää toteutumatta viikon tarkastelujaksolla (Ballard 2000, Koskela 2004). Tämä johtuu osin informaatiopuutteista, mutta osittain myös muista syistä, kuten tietoisesta aloittamisesta ilman valmistumisedellytyksiä, välinerikoista, edellisten työvaiheiden variaatiosta, työntekijöiden vaihtuvuudesta jne. Making-do:n vähentämiseksi yksi tärkeimmistä työkaluista on Last Planner, jota käsitellään luvussa 2.2.6.

Tietotaidon väärinkäyttö työmailla ei juuri riipu informaatiovirrasta työmaatoiminnoissa, sillä eri työntekijät ovat tyypillisesti töissä eri työnantajilla, joilla on sopimuksessa määritellyt tietyt työtehtävät. Lisäksi työtehtävät eivät ole muutenkaan helposti vaihdettavissa keskenään johtuen esimerkiksi viranomais- ja tilaajavaatimuksista eri työtehtäviin ja niihin tarvittaviin lupiin ja koulutuksiin liittyen. Eri hukkatyyppien esiintymisen riippuvuudet informaatiovirran toteutumisesta on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3 Hukkatyyppien relaatio informaatiovirtaan rakennusprojektin tuotantovaiheessa

Hukka	Riippuvuus informaation virtaamisesta rakennusvaiheessa
Kuljettaminen	Keskitasoa
Varastointi	Keskitasoa
Liikkuminen	Merkittävä
Odottaminen	Merkittävä
Ylituotanto	Vähäinen
Yliprosessointi	Vähäinen
Virheet	Keskitasoa
Making-do	Keskitasoa
Tietotaidon väärinkäyttö	Vähäinen

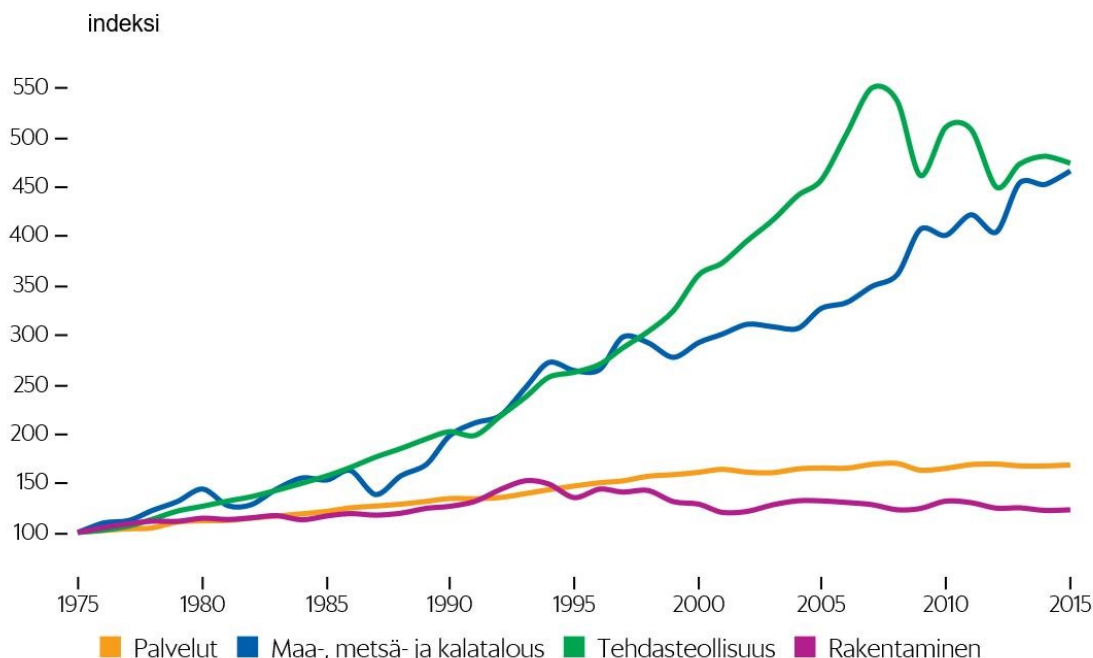
Koskela, Bølviken ja Rooke (2013) toteavat, että tämä valmistavan teollisuuden tarpeisiin luotu lista eri hukkatyypeistä ei sellaisenaan vastaa täysin rakennusalan luonnetta. He esittävätkin, että rakennusosalle pitäisi luoda oma hukkatyyppilista hukan ja arvon tehokasta havainnoimista varten. Tällaista listaa ei kuitenkaan ole vielä kehitetty, joten tässä diplomityössä, kuten myös muissa rakennusalan hukkaan liittyvissä tutkimuksissa, käytetään teollisuudesta kumpuavaa hukkalistausta.

2.2.3 Tarve tuottavuuden parantamiselle rakennusteollisuudessa

Rakennusteollisuudella on ollut jo pitkään maine huonosti tuottavana teollisuudenalana. Lohilahti (2017) ja The Economist (2017) raportoivat, että työn tuottavuus on ollut nousussa valmistavan teollisuuden alalla viime vuosikymmenet niin Suomessa kuin Yhdysvalloissakin. Rakennusteollisuus ei ole seurannut tätä trendiä: Kasvua ei ole ollut nimeksikään, kun taas muut teollisuudenalat osoittavat merkittävää kasvua. Jopa hyvin työntekijävetoisella palvelualalla työn tuottavuus on kasvanut huomattavasti rakennusteollisuutta enemmän. Tämä käy hyvin ilmi, kun tarkastellaan tuottavuuden kehitystä eri teollisuudenaloilla.

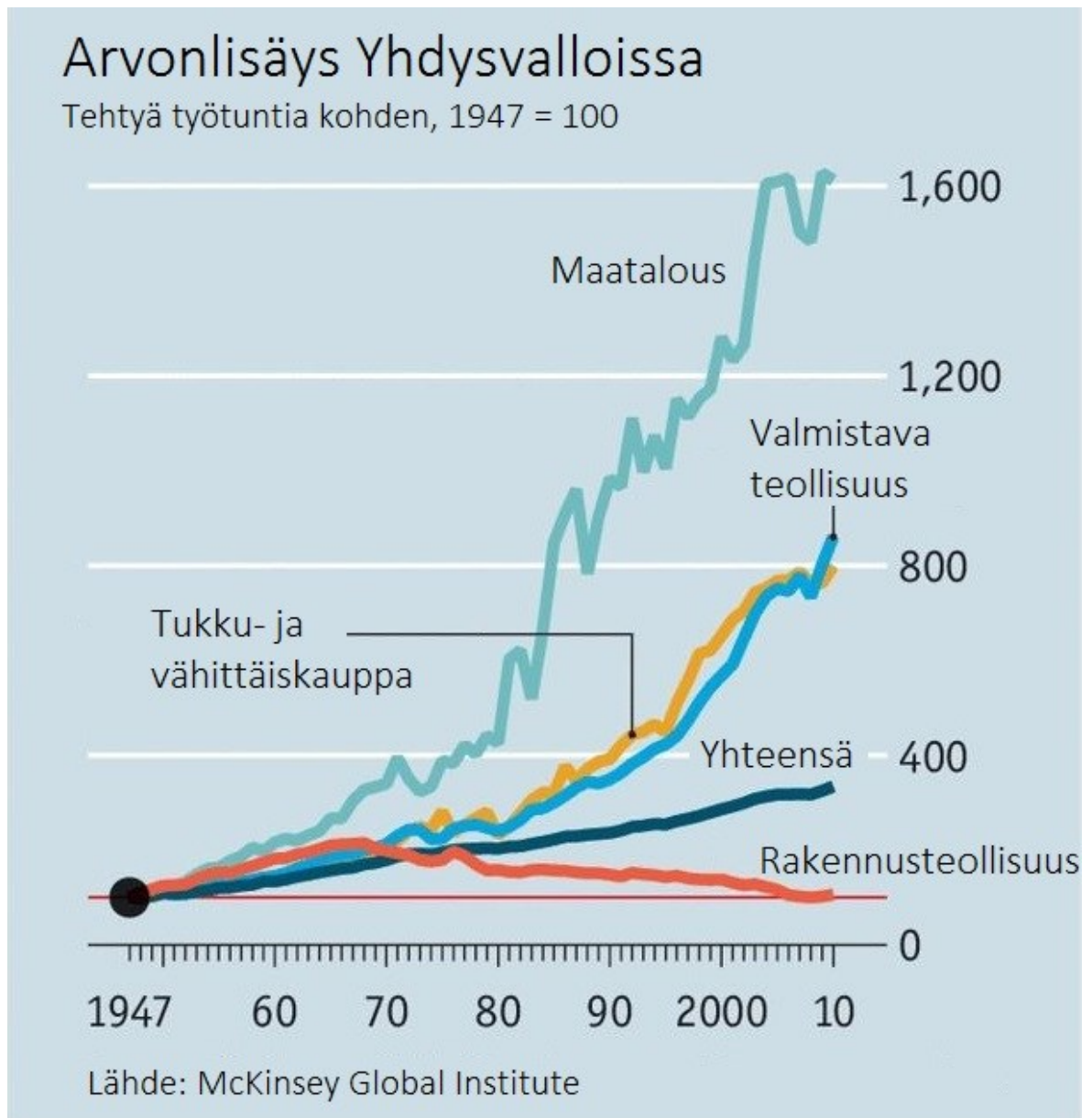
Kuvassa 4 esitetään 40-vuotinen vertailu suomalaisen rakennusteollisuuden ja muiden teollisuudenalojen tuottavuuden kehityksestä vuosina 1975-2015. Suomen tilanne ei ole mitenkään poikkeuksellinen tai uniikki. Kyse on ennemminkin kansainvälisestä ilmiöstä, sillä maailman suurimmassa taloudessa, Yhdysvalloissa, on havaittavissa hyvin samansuuntainen kehitys tuottavuudessa eri teollisuudenaloilla. Vertailu Yhdysvaltain teollisuudenalojen tuottavuudesta vuosina 1947-2010 on esitetty kuvassa 5.

Työn tuottavuuden indeksi 1975=100



Lähde: Tilastokeskus

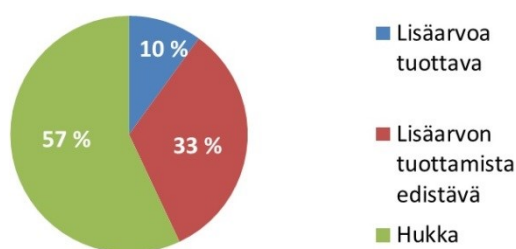
Kuva 4 Tuottavuuden kehitys eri teollisuudenaloilla Suomessa vuosina 1975-2015 (Lohilahti 2017)



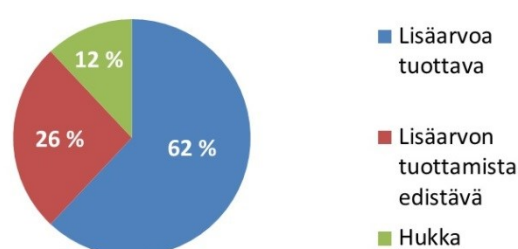
Kuva 5 Tuottavuuden kehitys eri teollisuudenaloilla Yhdysvalloissa vuosina 1947-2010 (The Economist 2017)

On selvää, että tuottavuusero rakennusteollisuuden ja muiden teollisuudenalojen välillä johtuu työn tekemisen jakautumisesta tuottavaan ja tuottamattomaan työhön. Näiden kahden lisäksi on myös työtä, joka tukee tuottavaa työtä. Näiden kolmen eri kategorian työosuudet poikkeavat merkittävästi rakennusteollisuuden ja valmistavan teollisuuden välillä, kuten on nähtävissä kuvasta 6.

Rakennusteollisuus



Valmistava teollisuus



Lähde: Construction Institute USA, 2004

Kuva 6 Arvoa lisäävien aktiviteettien osuudet rakennusteollisuudessa ja valmistavassa teollisuudessa (Koskenvesa 2010 ja Koskenvesa, Merikallio ja Heinonen 2018)

Lean-ajattelun näkökulmasta tämä on hälyttävää, sillä arvoa lisäämätön, eli tarpeeton työ muodostaa suurimman osan kaikesta tehdystä työstä. Tuottamattoman työn osuus on lähes viisinkertainen valmistavaan teollisuuteen nähden.

Merkittävä ero rakennusteollisuuden ja valmistava teollisuuden välillä on lean-tuotantofilosofian hyödyntämisen aste. Valmistavan teollisuuden prosesseissa lean-filosofiaa on käytetty laajalti 1980-luvulta lähtien, kun ensimmäiset englanninkieliset teokset leanista julkaistiin. Aikaisemmin kirjallisuus on ollut japaninkielistä. Rakennusalalla toimitaan kuitenkin yhä laajasti vanhoihin menetelmiin. Tätä pyritään muuttamaan ottamalla lean-filosofia käyttöön laajemmin rakennusalalla.

Howell (1999) käsittelee artikkelissaan rakennusalalle tyypillistä osaoptimoinnin ongelmaa. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennusteollisuudessa ja monella perinteisin metodein toimivilla muillakin teollisuudenaloilla tuotantoprosessi jaetaan tyypillisesti osakokonaisuuksiin, joita pyritään tämän jälkeen tehostamaan yksittäin hahmottamatta kokonaiskuvaa kunnolla.

Hän nostaa esiin hyvän analogian osaoptimoinnista ja sen haitoista: Mikäli liikenteessä autot ajavat tasaista nopeutta, liikennevirta on tasainen ja läpimenoaika on lyhyt. Jos taas joku autoilijoista pyrkii nopeuttamaan omaa matkantekoaan kiihdyttämällä (eli optimoimalla omaa suoritustaan), seuraa tästä enemmän tai myöhemmin jarruttelua. Tämä nopeusero vastaa tuotantoketjussa varianssia, joka johtaa liikenneuhkaan. Täten kokonaistehokkuus kärsii yksittäistä osakokonaisuutta tehostamalla.

Rakennusalalle osaoptimointi on pesiytynyt vahvasti, ja esimerkiksi aliurakointi ja monet sopimuskäytännöt tukevat yksittäisen projektinosan osaoptimointia, eivätkä niinkään edesautta kokonaisuuden tehostamista. Erilaiset yhteistoimintamallit ovat kuitenkin kasvattamassa suosiotaan rakennusalalla.

2.2.4 Leanin soveltaminen rakennusalalla

Vaikka lean-filosofian taustalla on valmistava teollisuus, eivät sen osat ole sidottuja pelkästään tehdasteollisuuteen, vaan koko filosofia on sovellettavissa myös muille teollisuudenaloille kuten vahvasti projektiluontoiselle rakennusalalle. Samoja metodeita ei kuitenkaan aina voi käyttää, joten metodiikkaan tarvitaan jonkin verran muutoksia, jotta filosofi-

aa saadaan hyödynnettyä rakennuslalla. Gregory Howell, joka toimii Lean Construction Institututen (LCI) johtajana, on kirjoittanut artikkelissaan (1999) selvityksen lean-rakentamisen taustasta ja perusteista.

Kuten edellisessä luvussa todettiin, rakennuslalla arvoa tuottamattomien toimintojen osuus toiminnoista on suuri verrattuna valmistavaan teollisuuteen. Tästä syystä myös tuotavuus on heikompaa. Tämä juontaa juurensa siihen, että prosessia on pyritty parantamaan yksittäisiä työvaiheita tehostamalla sen sijaan, että pyrittäisiin parantamaan prosessia kokonaisuutena (Koskela 1992).

Rakennusalan ja valmistavan teollisuuden vertailua väheksytään yleensä vetoamalla alojen keskinäisiin eroavaisuuksiin, kuten uniikkeihin kohteisiin, vaihteleviin organisaatioihin ja työympäristöön. Nämä seikat toki heikentävät lean-menetelmien tehokkuutta, mutta eivät kuitenkaan estä lean-filosofian yleisten periaatteiden käyttöä rakennusteollisuudessa, kunhan Koskelan (1992) raportissaan esittämät neljä avaintekijää täyttyvät:

- Johdon sitoutuminen,
- keskittyminen mitattavaan ja toteutettavaan parantamiseen,
- osallistuminen ja
- oppiminen.

Nämä tekijät tulee varmistaa, jotta lean-tuotantofilosofiaa voidaan tehokkaasti käyttää rakennusteollisuudessa.

Taulukko 4 Perinteisen tuotantofilosofian ja lean-tuotantofilosofian eroavaisuudet (perustuen Koskela 1992)

Perinteinen tuotantofilosofia	Lean-tuotantofilosofia
Tuotantotoiminnot mielletään...	
...sarjana toimintoja ja tehtäviä , joita	...materiaalin ja informaation virtausprosesseina , joita
- kontrolloidaan kustannuksen minimoimiseksi toiminnoittain	- kontrolloidaan vaihtelevuuden ja kiertoajan minimoimiseksi
- parannetaan määräajoin tuotavuuden osalta käyttöönottamalla uutta teknologiaa	- parannetaan jatkuvasti hukan ja arvon osalta ja määräajoin tehokkuuden osalta käyttöönottamalla uutta teknologiaa

Lean-rakentamisen juuret ovat 1990-luvulla. Koskela (1992) julkaisi tuolloin teknisen raportin, joka käsittelee uuden tuotantofilosofian käyttöönottoa rakennusteollisuudessa. Tämä tuotantofilosofia on myöhemmin muodostunut lean-rakentamiseksi. Vuonna 1993 perustettiin IGLC, International Group for Lean Construction, joka järjestää vuosittain konferenssin lean-rakentamisesta.

Lean-rakentamisen kehittämiseksi IGLC järjestää vuosittain konferensseja, joissa julkaistaan aiheesta tehtyä tutkimustietoa. IGLC:iin kuuluu asiantuntijoita rakennusten suunnittelun ja rakentamisen osa-alueilta. Mukana on sekä teoreetikkoja että käytännön tekijöitä, joskin painopiste on teoreettisessa tutkimuksessa. (IGLC 2015)

Howell (1999) julkaisi 7. IGLC-konferenssin yhteydessä yhteenvedon lean-rakentamisesta. Hän toteaa, että valmistavan teollisuuden opit on tyrmätty rakennuslalla usein aiheetto-

masti vetoamalla erilaiseen tuotantoon. Aktiviteetteihin keskittyvän tuotannon sijaan tulisi rakennusallakin keskittyä virtaan ja tuotettuun arvoon. Howell ei kuitenkaan määrittele tutkimuksessaan lean-rakentamista kovinkaan tarkasti.

Mossman (2018) pyrkii tutkimuksessaan vastaamaan lean-rakentamisen määrittelyyn. Yksiselitteiselle määritelmälle on tarvetta tutkimuksen yhdenmukaistamiseksi ja lean-rakentamisen käytön sekä tehokkuuden arvioimiseksi. Toisaalta, määritelmän ollessa tiukka, se saattaa rajoittaa aihetta liiaksi. Mossman perustaa oman näkemyksensä kyselytutkimukseen, johon osallistui joukko alan asiantuntijoita. Hänen määritelmänsä leanille kuulukaan seuraavasti:

”a practical collection of theories, principles, axioms, techniques and ways of thinking that together and severally can help individuals and teams improve the processes and systems within which they work”

Vapaasti suomennettuna lean-rakentaminen tarkoittaa siis rakennusalan käytännöllistä teoria-, periaate-, aksiooma-, tekniikka- ja ajattelutapakokoelmaa, joka auttaa yksilöitä ja tiimejä parantamaan prosesseja ja systeemejä, joissa he työskentelevät.

Suuri osa IGLC:n julkaisemasta informaatiovirtojen hallintaan liittyvästä tutkimuksesta käsittelee Last Planneria, joka on laajasti käytetty lean-pohjainen menetelmä kansainvälisesti tarkasteltuna. Menetelmä ja sen toimintaperiaate on kuvattu tarkemmin luvussa 2.2.6.

Hackler ym. (2017) ovat tutkineet tutkimuksessaan lean-kulttuurin luomista ja lean-periaatteiden käyttöönottoa pääurakoitsijayrityksessä. Sen lisäksi, että lean-kulttuurin luomista ja ylläpitoa helpottavat samaan tapaan ajattelevat yhteistyökumppanit, on myös tärkeää että henkilöstö on koulutettu lean-tuotantoon. He ratkaisivat koulutustarpeen järjestämällä online-kurssin ja pitämällä viikoittain tunnin mittaiset puhelinneuvottelut fasilitaattorin kanssa viikolla opituista asioista. Tutkimuksen lopputuloksena oli, että vaikka koulutus lean-metodiikkaan liittyen on tärkeää, kaikista oleellisinta on pitää huolta siitä, että leanin periaatteiden, tavoitteiden ja sanaston tunteminen on hyvällä tasolla koko organisaatiossa.

Rakennusliikkeiden sisäisen lean-käyttöönoton lisäksi lean-rakentamista on tutkittu myös useiden osapuolten välisissä kokonaisuuksissa. Broft (2017) on tutkinut lean-periaatteiden käyttöä asuntotuotannon toimitusketjussa. Lean-ohjatussa toimitusketjussa tuotteen toimitusaika oli 20 päivää, kun taas perinteisesti ohjatun toimitusketjun toimitusaika oli 50 päivää. Aikataulu saatiin siis lyhennettyä jopa 60 %. Valtaosa havaitusta hukasta oli odottamista, jonka väheneminen näkyy melko suoraan aikataulun tiivistymisenä. Lean-tuotanto on siis varsin tehokas väline myös toimitusketjujen hallintaan.

Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa selvisi, että valtaosa lean-rakentamista hyödyntävistä yrityksistä havaitsi useita hyötyjä, kuten paremman laadun (84 %), asiakastytyvyyden (80%), tuottavuuden (77 %) ja turvallisuuden (77 %) (Bernstein 2013).

Young, Hosseini ja Lædre (2017) esittävät tutkimuksessaan vahvaa yhteyttä lean-rakentamisen ja allianssimuotoisen rakennustuotannon välillä. Molemmilla pyritään tuottamaan asiakkaalle maksimaalinen arvo. Lean-tuotannon ja allianssin yhdistämisessä on

suurta potentiaalia tuotannon tehostamiselle, sillä se poistaa hukkaa koko prosessista, myös sopimusteknisistä tekijöistä johtuvaa.

Lean-rakentamista on pyritty edistämään myös Suomessa. Merikallio ja Haapasalo (2009) ovat tarkastelleet strategisia kehityskohteita rakennus- ja kiinteistöalalla. Heidän raporttinsa pyrkii selventämään lean-rakentamista, sen teoriaa ja työkaluja. Raportti on tarkoitettu nimenomaan suomalaisille rakennus- ja kiinteistöalan toimijoille, ja mahdollisimman laajan lukijakunnan saavuttamiseksi se on kirjoitettu suomeksi. Raportissa on listattu kohtalaisen kattavasti erilaisia menetelmiä, mutta samalla se muistuttaa pitämään mielessä, että leanin mukaisessa toiminnassa avainasemassa on menetelmien sijaan ajatusmaailma. (Merikallio ja Haapasalo 2009)

2.2.5 Lean-pohjaiset metodit informaatiovirtojen hallinnassa

Seuraavaksi käsitellään metodeita informaatiovirran hallitsemiseksi rakennusprojektin tuotantovaiheessa. Metodit on valittu niiden sovellettavuus ja käyttö rakennusallalla huomioon. Metodeita lean-rakentamiselle on olemassa lukuisia, mutta tässä listauksessa keskitytään informaatiovirran hallintaan soveltuviin työkaluihin ja metodeihin. Laajempia listauksia ja esittelyitä metodeista tarjoavat esimerkiksi Merikallio ja Haapasalo (2009), Marttinen (2015), O'Connor ja Swain (2013) sekä Koskela (1992).

Valtaosa kotimaisesta lean-rakentamiseen liittyvästä tutkimuksesta on tehty nimenomaan menetelmiin ja niiden käyttöön pohjautuen diplomityötasolla. Näiden lisäksi Mäki, Kerosuo ja Koskenvesa (2018) tutkivat kirjassaan kokemuksia menetelmistä muutosprosesseissa suomalaisissa rakennusalaan liittyvissä yrityksissä. Kirjassa käsitellään viittä tapausta, joista yksi on tämän diplomityön kohdeyritys Lujatalo Oy. Muista yrityksistä kaksi toimii kiinteistöjen ylläpidon ja rakennuttamisen parissa sekä yksi rakennusten suunnittelun ja yksi tietomallikonsultoinnin alalla.

Diplomityötasolla käsitellyistä menetelmistä esiin nousee selkeästi viisi lean-pohjaista menetelmää, jotka ovat Last Planner, visuaalinen ohjaus, Reseptityöskentely, solmutyöskentely sekä Big Room. Lisäksi useissa töissä on käsitelty myös yhteyttä tietomallintamiseen.

Last Planneria ovat teorian tasolla käsitelleet ainakin Juntunen (2015), Lassila (2016), Marttinen (2015), Puranen (2016) ja Simpanen (2018). Kolme ensimmäistä käsittelevät enimmäkseen rakennusten suunnitteluvaihetta, kun taas Purasen työ käsittelee projektin aikatauluttamista tarjousvaiheessa ja Simpasen työ koko toimitusketjun hallintaa tietomallin kautta. Teoreettisen tutkimuksen lisäksi Alastalo (2016) on kehittänyt Last Planneria ja visuaalista ohjausta yhdistelevän ohjaustaulun, jota pilotoidaan suuressa korjaushankkeessa aikatauluttamisen näkökulmasta.

Alastalon (2016) empiirisen tutkimuksen lisäksi myös Puranen (2016) käsittelee työssään visuaalista ohjausta, tosin teoriavetoisesti. Hänen työssään aikataulua visualisoidaan tietomallipohjaisesti käyttäen erilaisia visualisointeja ja ohjelmistoratkaisuja. Samantapainen aihe on myös Helmisen (2016) diplomityössä, jossa rakennettavuutta hallitaan tietomallin ja esimerkiksi 4D-aikatauluttamisen kautta.

Tietomallintaminen on useissa töissä ollut empiirisen tutkimuksen kohteena, kuten ylemmänä ja mainittiin. Purasen (2016), Helmisen (2016) ja Simpasen (2018) lisäksi myös Marttinen (2015) on tutkinut tietomallintamisen hyötyjä rakennusprojektissa. Hänen työnsä

keskittyy suunnitteluvaiheeseen, joten tietomallintamisen osalta siinä käsitellyt tiedot eivät suoraan ole sovellettavissa rakentamismallintamiseen. Suunnitteluvaiheen tietomallintamista käsittelee teoriatasolla diplomityössään myös Lassila (2016).

Lassila (2016) esittelee työssään suunnittelunohjauksessa käytettävän työkalun, jota nimitetään Reseptityöskentelyksi. Työkalun avulla hallitaan suunnitteluprosessia. Se yhdistelee erilaisia yhteistyötä parantavia metodeita niin leanin kuin tietomallintamisenkin näkökulmasta. Oleellisia osia ovat esimerkiksi seuraavaksi käsiteltävät solmutyöskentely sekä Big Room.

Solmutyöskentelyä käsitellään Lassilan (2016) diplomityön lisäksi myös Marttisen (2015) diplomityössä. Solmutyöskentely kulkee rinta rinnan Big Roomin kanssa, sillä ne ovat samankaltaisia ja niiden välinen raja hämärtyy helposti puhuttaessa eri yhteistoimintamenetelmistä. Solmutyöskentely on kuitenkin Big Roomia uudempi asia. Big Roomia käsitellään ilman solmutyöskentelyä teoriapohjaisesti Alastalon (2014) diplomityössä. Lisäksi käytännön sovellutuksia Big Roomin käytölle suunnitteluvaiheessa on kokeiltu Suokkaan (2015) ja Juntusen (2015) diplomitoissa. Näissä töissä Big Roomin eduksi havaittiin se, että keskeneräisenkin suunnittelutiedon jakaminen vahvistaa suunnitteluvaiheen informaatiovirtaa oleellisesti.

Edellä mainitut tutkimukset osoittavat, että diplomityötasolla informaation kulkua ja siihen liittyviä prosesseja on tutkittu melko kattavasti suunnitteluvaiheessa. Kuitenkin rakennusvaiheen informaatiovirtoja on tutkittu verrattain vähän. Menetelmätasolla analysoidessa tutkimuksia on tehty kuitenkin useita. Tyypillisesti samat menetelmät, kuten Last Planner toistuvat näissä tutkimuksissa melko usein. Taulukossa 5 koostetaan eri menetelmien esiintymistä suomalaisissa tutkimuksissa.

Taulukko 5 Informaatiovirran hallintamenetelmien käsittely suomalaisissa julkaisuissa

	Last Planner	Big Room	Solmutyöskentely	Reseptityöskentely	Visuaalinen ohjaus	Tietomallintaminen
Alastalo (2014)						
Helminen (2016)						
Juntunen (2015)						
Lassila (2016)						
Marttinen (2015)						
Merikallio ja Haapasalo (2009)						
Mäki, Kerosuo ja Koskenvesa (2018)						
Puranen (2016)						
Simpanen (2018)						
Suokas (2015)						

	Menetelmää on käsitelty teoriapohjaisesti
	Menetelmästä on tehty empiiristä tutkimusta

2.2.6 Last Planner

Last Planner (LP), josta käytetään myös termiä Last Planner System (LPS), on yksi tehokkaimmista lean-rakentamisen metodeista aikatauluttamiseen ja aikataulun toteutumisen seuraamiseen. Sen ovat kehittäneet Lean Construction Institute (LCI) ja International Group for Lean Construction (IGLC) viimeisen parin vuosikymmenen aikana. (Kenley ja Seppänen 2010; Mäki, Kerosuo ja Koskenvesa 2018).

Vaikka Last Planneria on tutkittu paljon, se on myös hyvin käytännönläheinen ja sen vaikutukset voidaan havaita hyvin nopeasti käytön alkamisen jälkeen. Menetelmän käyttäminen ei vaadi suuria investointeja, joten se on hyvin edullinen ja helposti käyttöönotettava tapa työtehtävien suunnitteluun ja toteuman seuraamiseen. Last Planneria voidaan käyttää yhdessä muiden lean-pohjaisten metodien kanssa.

Last Planneria voidaan käyttää ja onkin käytetty myös suunnittelunohjaukseen. Metodi on kuitenkin tehokkaampi tuotantovaiheen hallitsemiseen. (Marttinen 2015, Kerosuo ym. 2012).

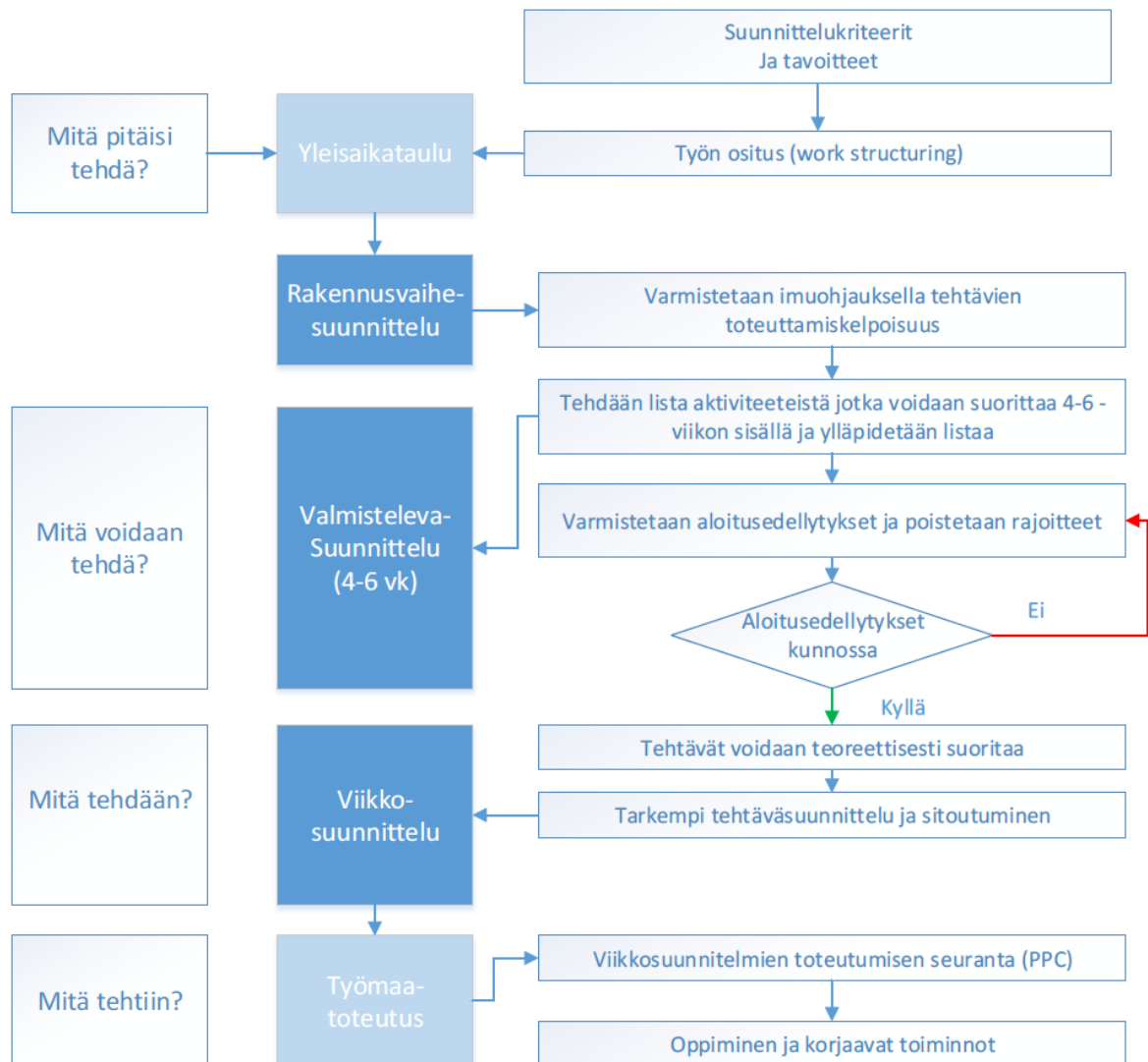
Koskela, Koskenvesa ja Sipi (2004) ovat kirjoittaneet oppaan Last Plannerin käyttöön rakennustyömaalla. Tämä opas on kirjoitettu suomeksi, kun valtaosa vastaavista materiaaleista on yleensä kirjoitettu englanniksi. Suomenkielinen teos helpottaa menetelmän omaksumista, sillä Suomessa työnjohdon äidinkieli on yleensä suomi ja tutulla kielellä on helppo seurata ohjetta ja ottaa menetelmä käyttöön.

Last Planner on ennen kaikkea sosiaalinen prosessi, jossa tekijät ovat avainasemassa. Tämä tarkoittaa sitä, että aikatauluttamista ei voi tehdä etukäteen ja vain esittää tekijöille, vaan aikataulu täytyy luoda yhteisesti siten, että kaikki osapuolet pääsevät vaikuttamaan siihen. Tästä syystä Last Planner tehostaa myös aikataulutiedon saavutettavuutta ja välittää tiedon niille, jotka sitä työssään tarvitsevat.

Simpanen (2018) esittää diplomityössään 4D-aikataulun yhdistämistä Last Planneriin. Näin saadaan visualisoitua Last Plannerin avulla luotua aikataulua ja havainnoitua mahdollisia virheitä töiden rytmityksessä.

2.2.6.1 Last Plannerin periaatteet

Last Planner on suunniteltu siten, että se suojaa tuotantovaihetta puutteelliselta suunnittelulta. Tämä varmistetaan estämällä tehtävän eteneminen etukäteissuunnittelusta tuotantoon ennen kuin se on mahdollista suorittaa kokonaan, eli sen valmistumisedellytykset on täytetty. Näitä edellytyksiä voivat olla esimerkiksi materiaalin ja työvoiman saatavuus, edellisten työvaiheiden valmius sekä oikeanlaiset olosuhteet. Tämä etukäteisvarmistaminen on tärkeää, sillä tehtävän aloittaminen ja myöhemmin kesken jättäminen luo hukkaa (Making-do). Last Plannerin toimintaperiaate on esitetty vuokaaviona kuvassa 7 sekä prosessikaaviona kuvassa 8.



Kuva 7 Last Planner -menetelmän toiminta vuokaaviona (Alastalo 2014)

Last Plannerin vaiheet Kenleyn ja Seppäsen (2010), Patelin (2011), Koskelan (1999), Ballardin (2000) sekä Koskelan, Koskenvesan ja Sipin (2004) mukaan ovat seuraavat:

Yleis- ja vaihesuunnitelma

Tehtäväsuunnittelun pohjana toimii yleisaikataulu, joka pohjautuu koko projektin aikataulutavoitteille. Vaihesuunnitelma tehdään yleisaikataulun pohjalta yhdessä niiden aliurakoitsijoiden kanssa, jotka ovat vastuussa kyseisen vaiheen suorittamisesta. Näin saadaan hyödynnettyä eri osapuolten tietämys suunnittelua varten. Suunnittelu toteutetaan imuohjauksella, ”takaperin”, eli alkaen suunnittelusta valmistumispäivästä. Tällä tavoin saadaan esille vaatimukset, joiden pitää täytyä työn viemiseksi tuotantoon. Kun suunnittelu tehdään yhdessä, jokainen osapuoli tulee tietoiseksi näistä vaatimuksista ja niiden toteuttamisaikataulusta. Tehtäväjärjestys suunnitellaan yhdessä ja mahdolliset puskurit sijoitetaan häiriöherkkimpien tehtävien yhteyteen yhdessä sopien.

Valmistava suunnittelu

Valmistavan suunnittelun vaiheessa tehtäviä suunnitellaan tarkemmin lyhemmällä, esimerkiksi neljän tai kuuden viikon aikavälillä. Työ, jota ei voida suorittaa kokonaan, poistetaan valmistavasta suunnittelusta. Tehtävät tulee suunnitella sellaisella tasolla, että ne voidaan sellaisenaan ottaa tehtäväksi työmaalla. Ongelmien varalta voidaan ylläpitää listausta täytetöistä, eli töistä, jotka voidaan suorittaa, mutta joita ei ole aikataulullisesti suoritettava kyseisessä vaiheessa. Näin saadaan pienennettyä mahdollisten ongelmien vaikutusta tuotantoon.

Viikkosuunnittelu

Yksityiskohtaiset aikataulut tehtäville saadaan edellisestä vaiheesta, valmistavasta suunnittelusta. Tässä vaiheessa tutkitaan tehtävän edellytyksiä ja varmistetaan, että jokaiselle viikolle löytyy tarpeeksi aloitettavia tehtäviä. Mikäli aloittamisedellytykset eivät täyty, keskitytään itse tehtävän sijaan sen edellytysten täyttämiseen. Tässä tapauksessa voidaan hyödyntää täytetöitä, jotka otetaan viikkosuunnitelmaan mukaan. Näin saadaan pidettyä tuotanto mahdollisimman sujuvana ongelmista huolimatta.

Viikkosuunnittelussa olennaista on, että jokainen tehtävä on määritelty riittävän hyvin, eli sen lopputulos tai –tavoite on selkeästi määrätty. Lisäksi työjärjestyksen on oltava tarkoituksenmukainen ja työmäärien tulee olla arvioitu totuudenmukaisesti. Tässäkin auttaa se, että tekijä itse on aikatauluttamassa omaa tekemistään.

Edellytysten varmistaminen

Edellytykset ovat niitä tehtäviä, olosuhteita ja resursseja, joiden pitää olla kunnossa ennen kuin tehtävä voidaan suorittaa *kokonaan*. Tämä on yksi Last Planner –järjestelmän kulmakivistä. Tehtävää ei kannata aloittaa, mikäli sitä ei voida suorittaa loppuun, sillä kesken jäänyt työ aiheuttaa hukkaa. Rakennusosalalla on varsin tyypillistä, että tuotanto yritetään pitää käynnissä kaikin mahdollisin keinoin, eli valmistumisedellytyksiä ei varmisteta ennen tehtävän aloittamista. Tämä johtuu siitä, että on näennäisesti tehokasta, että koko ajan saadaan tehtyä jotain. Hukan välttämiseksi vain tehtävät, jotka voidaan suorittaa kokonaan voidaan siirtää viikkosuunnitteluun.

Vaikka aloitusedellytyksiä pyritään varmistamaan jo valmistavassa suunnittelussa, on viikkosuunnitteluvaiheessa hyvä varmistaa edellytykset, sillä esimerkiksi olosuhteita ei voi välttämättä varmistaa vielä valmistelevalle suunnittelun vaiheessa.

Tuotannon suojaaminen

Viikkosuunnittelu on tarkoitettu tuotannon suojaamiseen huonolta suunnittelulta. Mikäli edellytykset eivät täyty, on suunnittelussa epäonnistuttu. Last Planner estää tällaisten tehtävien etenemisen tuotantovaiheeseen ja suojaa täten tuotantoa hukalta, joka johtuu työn keskeytymisestä.

TTP - Aikataulutuksen onnistumisen mittaaminen

Aikataulutuksen tasoa mitataan Last Plannerissa TTP-luvulla (Tehtävien toteutumisprosentti). Toisinaan näkee käytettävän myös englanninkielistä versiota PPC (Percent Plan Complete). TTP kuvaa suunniteltujen ja kokonaan valmiiksi saatujen tehtävien suhdetta suunniteltuihin tehtäviin tarkastelujaksolla, joka on tyypillisesti yksi viikko. On olennaista huomata, että tehtävä, joka on toteutettu, mutta ei suunniteltu, ei nosta tätä suhdetta. Täten TTP:n lukuarvo ei voi ylittää arvoa 1. Sen vaihteluväli on siis 0...1, joskin yleisesti käytetään prosenttimuotoa, jolloin luku vaihtelee välillä 0...100 %. Tämä on luonnollista, sillä TTP ei mittaa suorituksen tasoa, vaan suunnittelun tasoa. Jos työ tehdään suunnittelematta, edustaa se huonoa suunnittelua.

Alle 60 % TTP kertoo huonosta suunnittelusta, kun taas yli 80 % TTP kertoo, että työn suunnittelu on hyvällä tasolla. TTP:n tulkinta on esitetty taulukossa 6. Mikäli TTP lähestyy 100 %, voidaan vetää johtopäätös, että aikataulussa on liikaa puskureita. Tällöin on siis suositeltavaa vähentää puskureita seuraavan viikon suunnitelmasta ja täten lyhentää kokonaisaikataulua ja tehostaa tuotantoa.

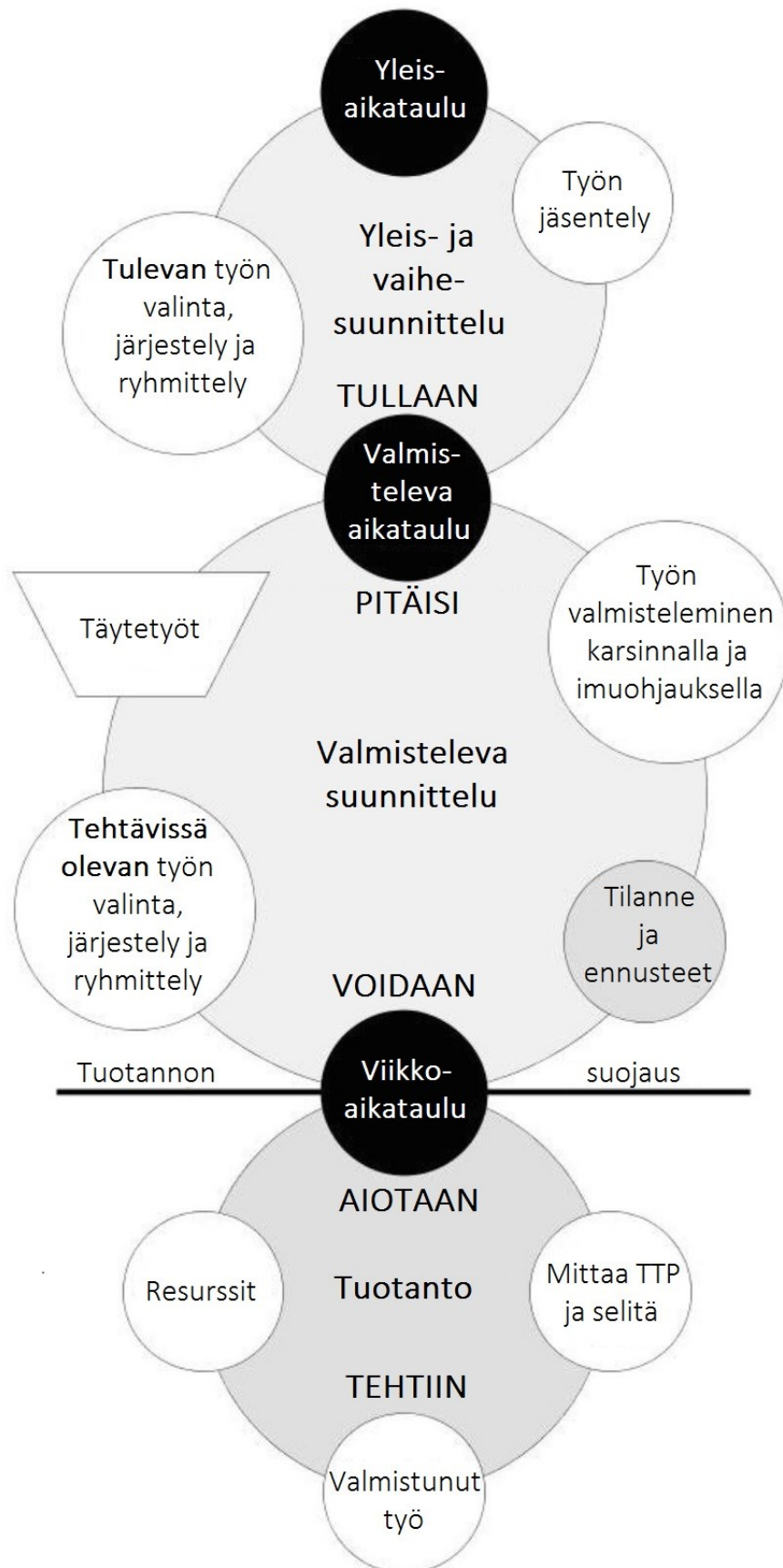
Toledon, Olivaresin ja Gonzálezin (2016) tutkimuksessa tietomallinnuksen yhdistämisellä Last Planneriin saadaan aikaan huomattava parannus TTP:n kehityksessä. Heidän tutkimissaan tapauksissa TTP nousi tietomallinnuksen myötä 76,7 prosentista 85 prosenttiin ja sen vaihtelu laski 10,1 prosentista 4,6 prosenttiin. 4D-aikataulun mahdollisimman reaaliaikainen synkronointi Last Plannerin kanssa nousi esiin tärkeänä tekijänä tietomallilinkityksen kannalta. Toteumatiedon ajantasaisuus myös parantaa Last Plannerin laatua, sillä aikataulutus pohjautuu vahvasti toteumatietoon.

Taulukko 6 TTP:n tulkinta (Koskela, Koskenvesa ja Sipi 2004)

TTP:n lukuarvo	Työmaan tuotannonohjauksen suoritustaso
< 60 %	Huono
60-80 %	Keskinkertainen
> 80 % ≤ 85 %	Hyvä
> 85 %	Erinomainen

Parantaminen tulosten perusteella

Virheiden yksilöiminen ja niihin puuttuminen on yksi avaintekijöistä Last Plannerissa. Kun epäonnistunut tehtävä havaitaan, selvitetään tehtävän epäonnistumiseen johtanut syy ja pyritään korjaamaan suunnittelua siten, että vastaavaa ei enää jatkossa tapahdu. Täten saadaan varmistettua lean-filosofialle ominainen jatkuva parantaminen, eli tuotantoprosessin hiominen paremmaksi toimintatapoja parantamalla.



Kuva 8 Last Plannerin prosessikaavio (Kenley ja Seppänen 2010)

2.2.6.2 Last Plannerin käyttö rakennusteollisuudessa

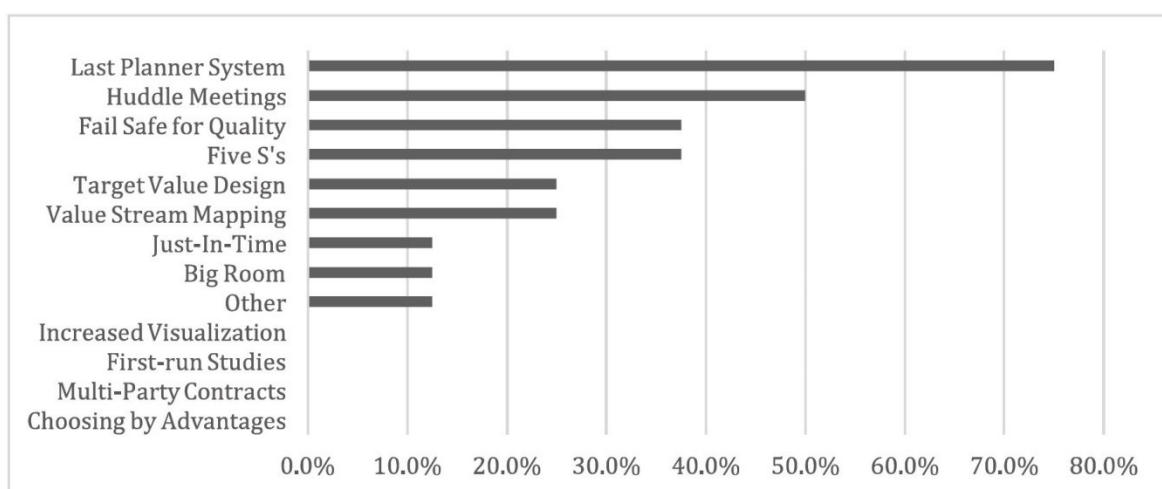
Last Planner on selkeästi yleisin lean-metodi, jota yhdysvaltalaiset viimeistelyvaiheen (Suomessa sisätyövaihe) urakoitsijat käyttävät. Tämä käy ilmi kuvasta 9, jossa on esitetty eri menetelmien käytön yleisyyttä Smithin ja Ngon (2017) tutkimuksessa. Viimeistelyvaiheen työt ovat merkittävä osa rakennuksen kokonaiskustannuksista, sillä se muodostaa keskimäärin 12 % kokonaiskustannuksesta Yhdysvalloissa RSMeansin keräämän datan mukaan vuodelta 2015 (Smith ja Ngo 2017).

Smithin ja Ngon (2017) tapauksessa viimeistelytyöt on määritelty pohjoisamerikkalaisen luokittelujärjestelmän ylläpitäjän NAICS:n (North American Industry Classification System Association) julkaiseman koodin #2383 mukaisesti: viimeistelytyöihin kuuluvat kipsilevyseinät, alakatot, eristeet, palokatkot, tasoitustyöt, maalaustyöt ja seinien verhoukset, kiintokalusteasennukset, lattianpäällystykset, laatoitukset, välioviasennukset, listoitukset ja viimeistelytyöt (The Office of Management and Budget, 2017). Suomalaisittain näitä töitä vastaava työvaihe on sisätyövaihe lukuun ottamatta taloteknisiä asennuksia.

Haahtelan ja Kiiraan (2014) tekemä rakennuskustannusarvio osoittaa, että Suomessa sisätyövaiheen osuus rakennuskustannuksista on korkeampi kuin Yhdysvalloissa. Suomessa sisätyövaiheiden (tilaosat) kustannus on noin 16 % rakennuksen kokonaiskustannuksista.

Mikäli vertailu tehdään vain rakennusosille, eli jätetään pois hanketehtävät, eli hankkeen johtotehtävät, suunnittelutehtävät, rakentamisen johtotehtävät, työmaatehtävät, maa-alue tehtävät, rahoitus ja markkinointi sekä suunnitelma- ja hintamuutokset, saadaan vertailukelpoisempi prosenttiosuus, sillä em. kustannusten voidaan arvioida jakautuvan melko tasaisesti koko rakennuksen rakennusosille. Rakennusosavertailulla sisätyövaiheen (tilaosien) kustannus rakennusosien kokonaiskustannuksesta on noin 26 %. Sisätyövaihe on siis merkittävä osa koko rakennuksen kustannuksia. (Haahtela ja Kiiras 2014)

Sisätyövaihe on kustannuksien lisäksi myös aikaavievää, joten rakennuksen kokonaisaika- taulun lyhentämiseksi on oleellista kiinnittää siihen huomiota. Tästä johtuen Last Planner onkin otettu käyttöön laajalti, 75-prosenttisesti käyttöön yhdysvaltalaisten viimeistelyvaiheen yritysten keskuudessa.



Kuva 9 Lean-menetelmien käyttö yhdysvaltalaisten viimeistelyurakoitsijoiden keskuudessa (Smith ja Ngo 2017)

Ei ole yllättävää, että yleisin syy Last Plannerin ja muiden lean-pohjaisten tuotantoa tehostavien metodien käyttöönottoon on kustannusten karsiminen ja kannattavuuden parantaminen (Smith ja Ngo 2017). Kuvasta 10 voidaan nähdä, että kaikki tutkimukseen vastanneet 24 yrittäjää nimesivät tämän syyksi lean-menetelmien käyttöönotolle. Toisaalta muutkin annetut syyt pohjautuvat lopulta taloudelliseen menestymiseen.

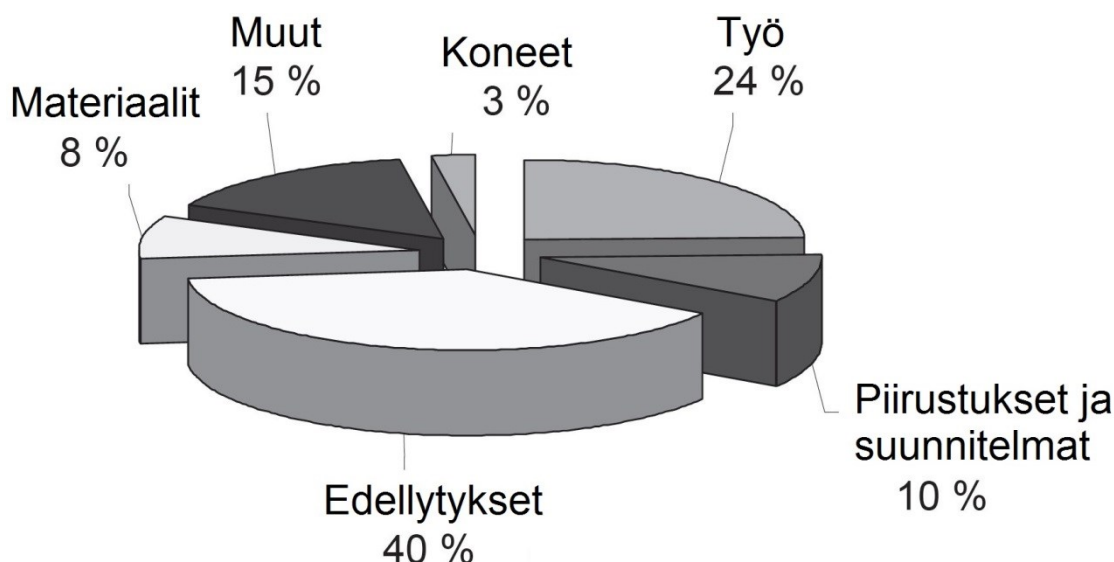


Kuva 10 Urakoitsijoiden syyt leanin käyttöönotolle (Smith ja Ngo 2017)

Toiseksi suosituin syy leanin käyttöönotolle oli projektin aikataulun lyhentäminen. Tämä käy yksiin Last Plannerin suosion kanssa (kts. kuva 9), sillä Last Planner on nimenomaan tehokas työkalu aikataulun hallintaan rakennusprojekteissa. Viimeistelyvaiheen (sisävaiheen) työt myös alkavat usein keskellä rakentamisvaihetta, joten ne ovat vahvasti riippuvaisia muiden työvaiheiden aikataulutuksesta (Smith ja Ngo 2017). Tämä kokonaan eri työvaiheiden yhteensovittaminen on myös yksi Last Plannerin avulla hallittava asia.

Last Plannerin käytön hyötyjä on havainnoitu lukuisissa tutkimuksissa, kun taas haittapuolia ei juurikaan ole raportoitu (Alastalo 2014). Esimerkiksi Ballard (2000) toteaa, että mikäli suunnittelun TTP nousee 50 prosentista 70-75 prosenttiin, kasvaa työn tuottavuus noin 30 %. Last Plannerin myötä rakentamisaikaa saadaan lyhennettyä noin 20 % (Alastalo 2014).

Koskenvesa ja Koskela (2005) ovat tutkineet Last Plannerin käyttöönottoa Suomessa. Heidän tutkimuksensa tuloksena oli, että Last Plannerin käyttöönotto suomalaisessa rakennusteollisuudessa on järkevää. Työmailla suunnitelmapuutteita pidetään yleensä suurimpana syyllisenä tehtävien toteutumatta jäämiseen ja aikataulun venymiseen, mutta Koskenvesan ja Koskelan tutkimus osoittaa, että suunnitelmapuutteet olivat osallisena vain 10 % tapauksista (kuva 11). Työn ja edellytysten aiheuttamat viivästykset olivat huomattavasti yleisempiä. Tästä voidaan päätellä, että työmaan sisäisellä suunnittelulla ja johtamisella voidaan vaikuttaa aikatauluun huomattavasti. Last Planner on kehitetty juuri näiden parantamiseen.



Kuva 11 Syyt toteutumattomille tehtäville suomalaisissa Last Planner –pilottikohteissa (Koskenvesa ja Koskela 2005)

2.2.7 Big Room

Big Room (japaniksi *Obeya*) on työskentelytapa, jossa projektiin liittyvät eri alojen asiantuntijat työskentelevät samassa tilassa, joka on mielellään varattu vain kyseistä projektia varten. Kun tila on varattu vain ja ainoastaan yhden projektin käyttöön, voidaan esimerkiksi seinäpinta-alaa hyödyntää projektiin liittyvän aineiston, esimerkiksi suunnitelmien tai Last Planner –taulujen esillä pitämiseen. (Suokas 2015)

Menetelmä tehostaa tiedonsiirtoa eri osapuolten välillä, sillä tiedonvälitykseen ei tarvita puhelimia, sähköpostia tai muita kommunikaatiovälineitä. Näin tieto siirtyy sujuvasti osapuolelta toiselle. Kun eri alojen asiantuntijat ovat samassa tilassa, siirtyy tieto reaaliaikaisesti kaikille osapuolille.

Big Room toimii parhaiten projekteissa, joissa osapuolet työskentelevät täysiaikaisesti vain yhden projektin parissa. Sitä käytetään yleensä suunnitteluvaiheessa, mutta soveltaminen myös rakentamisvaiheessa esimerkiksi eri urakoitsijoiden työnjohdon välillä on mahdollista.

Big Roomia käytetään terminä myös pienempien projektien yhteydessä. Tällöin on tyypillisesti sovittu tietyt ajankohdat, esimerkiksi viikonpäivät, jolloin työskennellään samassa tilassa. Jos asiantuntijat kutsutaan koolle vain tarvittaessa, on kyse solmutyöskentelystä, jota käsitellään seuraavassa luvussa.

2.2.8 Solmutyöskentely

Solmutyöskentely (englanniksi *Knotworking*) on metodi, joka on alun perin kehitetty terveydenhuoltoalalle Helsingin yliopiston CRADLE-tutkimusyksikössä (Center for Research on Activity, Development and Learning, suomeksi *Toiminnan, kehityksen ja oppimisen tutkimusyksikkö*). Ensimmäiset kokeilut aiheesta aloitettiin 1990-luvulla ja sittemmin sitä on hyödynnetty myös kasvatustieteiden ja sosiaalisten tieteiden projekteissa kansainvälisissä tutkimuksissa, esimerkiksi Englannissa, Kanadassa ja Australiassa. Solmutyöskentelyn kehittäminen rakennusalan tarpeisiin alkoi vuosina 2012-2014 RYM-Shok PRE –ohjelman aikana. (Mäki, Kerosuo ja Koskenvesa 2018)

Kerosuo, Mäki ja Korpela (2013) ovat niin ikään tutkineet metodin käyttöä rakennusallalla tapaustutkimuksella. He (2015) ovat myös tutkineet tarvetta oppimiselle ja henkilöresurssien hyödyntämiselle tavallisesti solmutyöskentelyssä käytettävien työkalujen rinnalle. Metodista käytetään Big Roomin tavoin pääasiassa suunnittelussa, mutta se on sen tavoin sovellettavissa myös rakentamisvaiheeseen.

Big Roomin (kts. edellinen kappale) idea on nähtävissä myös tässä metodissa ja siten myös sen vaikutukset informaatiovirtaan ovat samankaltaisia. Solmutyöskentely on muuten melko samanlaista Big Roomin kanssa, mutta se ei edellytä kokoaikaista läsnäoloa vakiopaikassa. Suokkaan (2015) ja Kerosuon, Mäen ja Korpelan (2013) mukaan solmutyöskentely sopiikin paremmin Suomessa tyypillisiin pieniin projekteihin, kun taas Big Room on sopivampi isoihin projekteihin, joissa asiantuntijat työskentelevät täyspäiväisesti vain kyseisessä projektissa.

Solmutyöskentely perustuu solmuihin, jotka määritellään projektin alussa tai sen aikana tarpeen mukaan. Solmut ovat tilanteita, tehtäviä tai ongelmia, joissa saavutetaan suurin hyöty osapuolten työskentelystä samassa paikassa. Solmulla on aina tietty tavoite, tekijät ja aikaikkuna, jossa toimitaan (Lassila 2016).

Big Roomista poiketen myös yksittäisen solmun sijainti ja kokoonpano voivat muuttua tarpeen mukaan. Tämä juontaa juurensa solmutyöskentelyn alkuperään terveydenhuoltoorganisaatioissa. Niissä solmutyöskentelyä käytettiin nimenomaan tilanteissa, joissa tarvitaan useiden sellaisten asiantuntijoiden yhteistyötä, jotka tavallisesti eivät ole kovin vahvasti sidoksissa toisiinsa (Mäki, Kerosuo, Koskenvesa 2018). Sama periaate voidaan johtaa myös rakennusallalle, jossa eri alojen asiantuntijat ovat säännöllisesti yhteydessä toisiinsa, mutta harvoin siinä kokoonpanossa, joka kyseisen ongelman tai asian (solmun) ratkaisemiseksi on tarpeen.

Kokoonpanon vaihtuvuus solmukohtaisesti tekee solmutyöskentelystä varsin tehokasta, sillä kukaan ei ole paikalla turhaan, mutta toisaalta yhteistyöskentelyn hyödyt saadaan käyttöön silloin, kun ne ovat maksimaalisia. Solmutyöskentely ei myöskään vaadi kiinteää tilaa, vaan se voidaan järjestää missä tahansa ja vähentää näin mahdollista turhaa liikkumista.

Kun solmu on ratkennut, eli kun tehtävä on suoritettu tai ongelma ratkaistu, solmu katoaa eikä ole olemassa enää. Tämän jälkeen solmuun osallistuneet henkilöt voivat jatkaa työtehtäviään myös muiden kuin solmuun liittyvien projektien kanssa. Tämä tekee solmutyöskentelystä sopivan menetelmän pieniin projekteihin, kuten aiemmin kuvailtiin.

Solmutyöskentelyn ja tavanomaisten palaverien ja kokousten pääasiallinen ero on se, että solmussa ihmiset eivät ainoastaan jaa informaatiota keskenään kuten kokouksissa, vaan idea on ratkaista solmun aihe kerralla siten, että siihen ei enää tarvitse myöhemmin palata. Tästä syystä solmut kestävät huomattavasti tavanomaisia kokouksia pidempään, yleensä muutaman päivän. Myöskään solmujen välistä aikaa ei pyritä vakioimaan kuten normaalisti aikataulutetuissa kokouksissa.

Kerosuo, Mäki ja Korpela (2013) toivat esiin solmutyöskentelyn hyötyjä ja haittoja. Hyödyt liittyivät suurimmaksi osaksi tuottavuuden parantamiseen ja ajanhukan poistamiseen,

kun taas haasteet liittyivät pääosin solmujen ja tilojen valmisteluun. Esimerkiksi esitystekniikka tai tietoliikenneyhteydet saattavat vaihdella eri tilojen välillä, joten näiden teknisten ongelmien ratkominen aiheuttaa haasteita. Nykyään nämä haasteet ovat pienentyneet, sillä laitteet ovat entistä yhteensopivampia. Vertailu solmutyöskentelyn ja Big Roomin välillä on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7 Big Roomin ja solmutyöskentelyn vertailu (Kerosuo, Mäki ja Korpela 2013)

	Big Room	Solmutyöskentely
Osallistujat	Suunnittelijat, urakoitsijan edustajat, rakennuspäälliköt, suunnittelukonsultit, suurimmat alioirakoitsijat, omistajan ja käyttäjän edustajat	Kussakin solmussa tarvittavat henkilöt, usein suunnittelijat ja rakennuspäälliköt
Kesto	Koko projektin ajan pysyvästi	2-3 päivää kerrallaan, väliaikaisesti
Tavoite	Koko projektin suunnitelmat	Päätetty etukäteen kriittisessä suunnitteluvaiheessa
Tila/ominaisuudet	Määrätty vakiotila	Väliaikainen, muuttuva
Hyödyt	Yhdessä työskentely samassa paikassa Yhteistyö Hyvä ymmärrys kustannuksista, mahdollisuus pienentää kustannuksia	Tieto osapuolten välillä liikkuu nopeasti Erittäin tuottava Toisilta oppiminen, mahdollisuus osallistua tarvittaessa useisiin projekteihin samanaikaisesti
Haasteet	Vaatii kokoaikaisen läsnäolon Vaatii kulttuurimuutoksen, määrittelyn ja oikean asenteen osallistujilta	Tekniset ongelmat esimerkiksi tiedonsiirtoyhteyksissä väliaikaisesti sijainnista johtuen Vaatii hyvän etukäteisvalmistelun Vaatii vankan ammattitaidon ja positiivisen suhtautumisen tiimityöhön Haasteet, jotka liittyvät lähtötietoihin ja asiakasyhteistyöhön Tiukka aikataulu

Solmutyöskentelyä on kokeiltu Suomessa Senaatti-Kiinteistöjen hankkeessa. Senaatti-kiinteistöt on valtion tilapalveluja tuottava ja kiinteistöjä hallinnoiva liikelaitos. Kokeilun tuloksena todettiin, että menetelmä herättää mielenkiintoa ja positiivisia tuntemuksia, mutta huomattiin myös, että menetelmän käyttöönotto vaatii vahvaa ja monipuolista tukea organisaatiolta. (Mäki, Kerosuo ja Koskenvesa 2018)

Mäen, Kerosuon ja Koskenvesan (2018) kirjassa on myös hyvä yhteenveto solmutyöskentelystä ja sen sovellusehdotuksista liitteenä 1. Tämän liitteen ovat kirjoittaneet Hannele Kerosuo, Reijo Miettinen, Sami Paavola, Tarja Mäki ja Jenni Korpela.

2.2.9 Visuaalinen ohjaus

Visuaalinen ohjaus (engl. Visual Management) pyrkii visualisoimaan tuotantoa, laatua ja työpisteiden organisointia visuaalisesti siten, että kuka tahansa pystyy hahmottamaan esitettävän asian välittömästi (Greif 1991, Koskela 1992). Informaation liikkumisen kannalta selkeä esitystapa on ensiarvoisen tärkeää. Lean-rakentaminen edellyttää ymmärrystä suunnitelman ja toteuman välisestä erosta ja siihen reagoimisesta, johon selkeä ja nopea hahmottaminen ja täten reagoiminen tuo merkittävää etua. Visuaalista ohjausta voidaan käyttää useisiin tarkoituksiin lähes jokaisessa rakennusprojektin vaiheessa (O'Connor ja Swain 2013).

O'Connorin ja Swainin (2013) mukaan visuaalinen ohjaus voi sisältää esimerkiksi ryhmitäin tai työalueittain jaettuja ilmoitustauluja värikoodattujen suunnitelmien, pohjapiirustusten, työmäärän suhteessa aikaan, ongelma-kohtien, varastointien ja logistiikan hahmottamiseen, tulosten ilmaisemiseen kuvaajien ja kaavioiden avulla ja niin edelleen. Myös itse työmaalla käytetään erilaisia merkintöjä esimerkiksi kulkuväylien, varastojen ja työkalujen sijainnin esittämiseksi sekä työturvallisuuden edistämiseksi.

Visuaalinen ohjaus mahdollistaa tehokkaan toiminnan sujuvan kommunikaation kautta. Myös työn laatu ja tuottavuus paranevat ja yhteistyö osapuolten välillä helpottuu. (O'Connor ja Swain 2013). Alastalo (2014) toteaa, että kun aikataulu, projektin tavoitteet sekä sen kulku esitetään visuaalisin keinoin, saadaan lisättyä prosessin läpinäkyvyyttä sekä tehostettua osapuolten välistä ymmärrystä. Näin lisätään mahdollisuuksia tunnistaa ja ratkaista potentiaalisia tuotannon ongelmia ennen niiden realisoitumista. Kun ihmiset saavat tietoa katsomalla ympärilleen, tietoa ei tarvitse aktiivisesti viedä heille, vaan tiedonsiirto perustuu vapaaseen tahtoon (Tezel, Koskela ja Tzortzopoulos 2010, Greif 1991).

Mestre ym. (2000) toteavat, että 75 % oppimisesta tapahtuu visuaalisesti. Tätä tukevat Sundaramin (1996) tekemät havainnot siitä, että visuaaliset kuvat ovat nopeammin tulkittavissa kuin pelkät kirjoitetut lähteet. Tämä johtuu siitä, että ihmisäivot ovat luonnostaan valmistautuneimpia ja siten nopeimpia prosessoimaan visuaalisia ärsykyksiä. Visuaalinen tiedon esiintuominen siis parantaa tietovirtaa ja päätöksentekokykyä.

2.3 Tietomallintaminen informaatiovirtojen hallinnassa

Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi mitä on tietomallintaminen ja miksi sen suosio kasvaa rakennusalaalla jatkuvasti. Ensin esitetään hyvin tiivis kuvaus tietomallintamisesta, jotta lukija saa käsityksen, mistä on kyse. Kuvauksen ei ole tarkoitus olla kaikenkattava, mutta perustieto tietomallintamisesta ja sen pääperiaatteista on esitetty. Tämän työn kannalta oleellista on tietomallintamisen yhteys informaatiovirtojen hallintaan.

2.3.1 Mitä on BIM? – Lyhyt kuvaus tietomallintamisesta

Tietomallintaminen eli BIM (Building Information Modeling) on rakennuksen, sen elinkaaren, tuotantoprosessin ja muun siihen liittyvän tiedon kokonaisuus. Se on yhteistyöprosessi, jota käytetään rakennusteollisuuden lisäksi myös esimerkiksi kiinteistöalalla. Tieto-

mallille ominaista on, että sen luomisprosessissa käytetään hyväksi digitaalisia työkaluja. Tyypillinen tietomallin esitysmuoto onkin mallintavilla suunnitteluohjelmilla muodostettu tietomalli, joka toimii virtuaalisena kuvauksena rakennuksesta. Nämä suunnitteluohjelmistoilla tuotetut tiedostot eivät siis varsinaisesti ole koko tietomalli, vaan ainoastaan sen esitysmuoto. (Epstein 2012)

Tietomallintamisen tarkka määritelmä on ollut keskustelun kohteena laajalti, mutta yhteneväistä eri versioille on, että tietomallintaminen kuvaa muutosta analogisten työkalujen käytöstä digitaalisten työkalujen käyttöön. BIM-nimityksen toi laajasti julkisuuteen Jerry Laiserin vuonna 2002. Hän määrittelee tietomallintamisen prosessiksi, joka luo ja ylläpitää moniulotteisia, tietorikkaita näkymiä koko rakennuksen elinkaaren ajalta tukeakseen kommunikaatiota, yhteistyötä, simulaatiota ja optimointia ja parantaakseen suunnittelua, dokumentaatiota ja luovutusta. (Laiserin 2007)

Tietomallit koostuvat komponenteista, kuten esimerkiksi ikkunoista, ovista, seinistä, laatoista, portaista, kanavista, putkista, johtokiskoista, paaluista jne. Jokaiselle näistä objekteista voidaan yksilöllisesti kirjoittaa vaihteleva määrä tietoa rakennusosan ominaisuuksista. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi geometria, materiaali, tyyppi, nimi, sijainti, valmistaja, paino, tunnus, jne. 4D- malleissa ominaisuuksiin lisätään myös aikataulutietoa ja 5D-malleissa kustannustietoa. Näitä tietoja voidaan suodattaa ja visualisoida, jolloin kattavasta mallista voidaan saada ulos piirustusten ja muiden esitysten lisäksi esimerkiksi määrä-, aikataulu- ja kustannustietoa.

Jotta rakennuksesta saa kattavan kuvan, tulee samasta mallista löytyä vähintään pääsuunnittelualojen komponentit. Pääsuunnittelualoja ovat arkkitehti-, rakenne-, LVI- ja sähkösuunnittelu. Näiden lisäksi yhdistelmämalliin voidaan lisätä erikoissuunnittelualoja, kuten esimerkiksi geo-, sprinkleri- tai pihasuunnittelua.

Käytännössä tietomallien tietosisältö vaihtelee hyvinkin paljon niin eri kohteiden kuin niiden vaiheidenkin mukaan. Suunnitteluvaiheessa tietomallit ovat usein hyvinkin karkeita. Näitä malleja tarkennetaan suunnittelun edetessä. Karkeiden mallien yhteensovittamisen avulla saadaan tarkistettua eri suunnittelualojen välisiä ristiriitoja jo aikaisessa vaiheessa, eikä ristiriitojen vuoksi ole tarpeen muokata jo pitkälle vietyjä suunnitelmia tai pahimmassa tapauksessa jo olemassa olevaa rakennusta. Ristiriitoja voidaan havaita automaattisten tietokoneen ajamien tarkastusten pohjalta, joten inhimillisten virheiden riski sekä työmäärä pienenee oleellisesti tietomallipohjaista yhteensovitusta käyttämällä.

Tietomalli voidaan nähdä rakennukseen liittyvänä tietokantana, sillä sen avulla samasta mallista, eli tietokannasta voidaan ottaa kaikenlaisia tietoja, kuten 2D-kuvia, 3D-esityksiä, määriä, mittoja jne. Kaikki tieto tulee samasta lähteestä, joten mallin avulla vältetään eri kuvausten välisiltä ristiriidoilta. Tämä tietokanta päivittyy rakennuksen elinkaaren aikana. Kun päivitykset tehdään tietokantaan, saadaan tieto päivitettyä kaikkiin mallista tuotettuihin dokumentteihin. Tietomalli voi kattaa projektidatan suunnittelusta aina rakentamisen, käytön ja ylläpidon kautta purkuvaiheeseen asti. (Epstein 2012)

Yhteentoimivuus ja avoimet standardit ovat yksi tietomallintamisen kulmakivistä. Tästä johtuen on kehitetty esimerkiksi tiedostomuoto IFC, jota käytetään mallitiedostojen yleisenä ja yhteensopivana tiedostomuotona. ICF-standardia kehittää ja ylläpitää buildingSMART-yhteistyöfoorumi, jolla on alaostonsa myös Suomessa.

BuildingSMART Finland on esimerkiksi julkaissut Yleiset Tietomallivaatimukset vuonna 2012. Tässä julkaisusarjassa ohjataan ja määritellään tietomallintamista ja sen vaatimuksia suomalaisessa rakennusteollisuudessa.

2.3.2 Tietomallintamisen ja lean-rakentamisen vuorovaikutus

Kuten aiemmin todettiin, lean-rakentaminen pitää sisällään useita keinoja informaatiovirtojen hallintaan ja parantamiseen rakennusprojekteissa. Tietomallien tietosisältö on suuri ja niihin liittyvien teknisten ratkaisujen avulla voidaan edistää informaatiovirran kulkua entisestään. Koska lean-rakentamisen ja tietomallintamisen tavoitteet limittyvät päällekkäin, on niiden välinen yhteys herättänyt mielenkiintoa tutkimusyhteisössä.

Sacks ym. (2010) ovat tutkineet lean-rakentamisen ja tietomallintamisen keskinäistä vuorovaikutusta. He tutkivat 24 lean-periaatetta ja 18 tietomallinnustoimintoa, joiden väliltä löytyi yhteensä 56 yhtymäkohtaa, joista 55 on kohdistettu lean- ja tietomallinnusperiaatteille. Neljää lukuun ottamatta kaikki niistä olivat rakentavia, tai kuten Eastman ym. (2011) kirjoittavat, positiivisia. Tutkimuksessa löydettyistä 56:sta yhtymäkohdasta 29 liittyy informaation liikkumiseen. Kaikki yhtymäkohdat ovat positiivisia. Näistä 29:sta positiivisesta yhtymäkohdasta 23 on havaittavissa rakentamisvaiheen aikana. Valtaosa näistä yhtymäkohdista vaikuttaa parantuneen informaationkulun kautta myös muihin parannuksiin.

Tietomallintaminen ja lean-rakentaminen eivät ole riippuvaisia toisistaan, eli lean-rakentamista voi toteuttaa ilman tietomallintamista ja päinvastoin. Tämä ei kuitenkaan poissulje niiden käyttämistä samanaikaisesti, vaan lean-rakentaminen ja tietomallintaminen tukevat toisiaan rakennusprojekteissa.

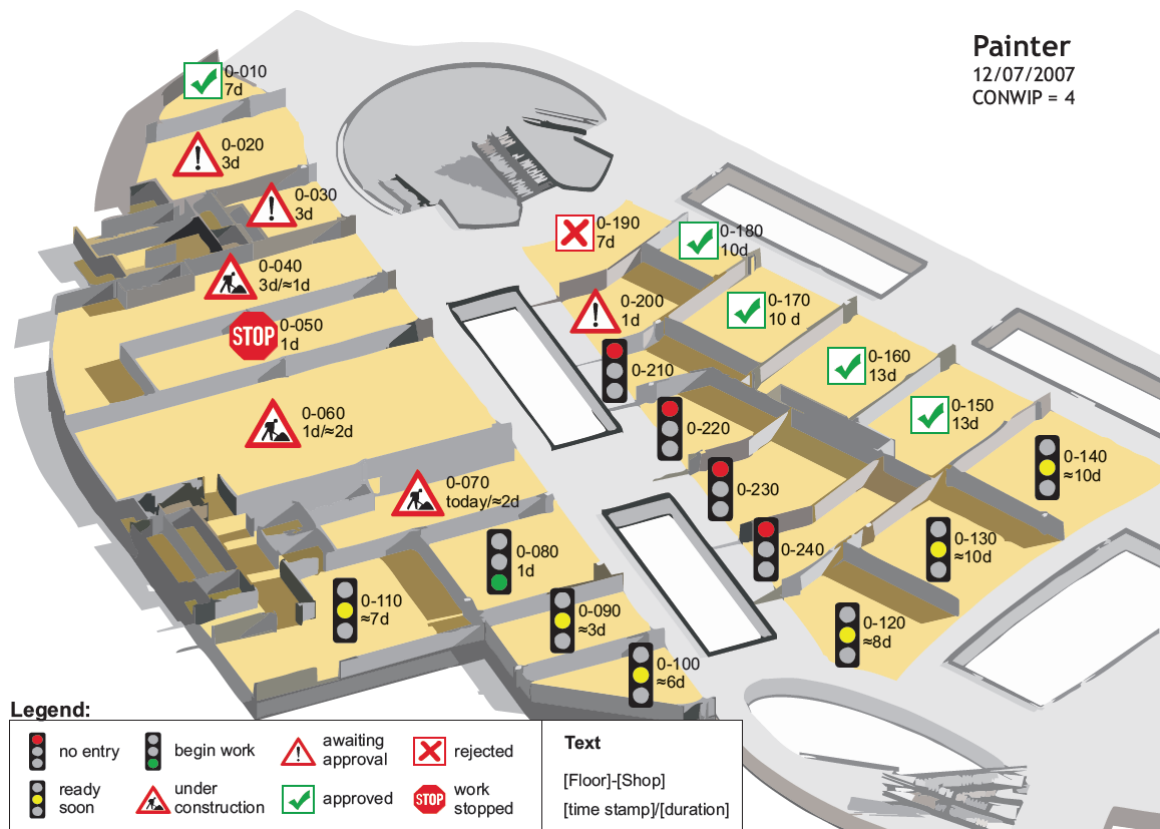
Eastman ym. (2011) toteavat, että tietomallintaminen luo puitteet integroidummalle suunnittelulle ja toteuttamiselle. Tästä johtuen se johtaa parempaan laatuun, pienempiin kustannuksiin ja lyhyempään toteutusaikaan. Näillä tuloksilla on vahva yhtymäkohta lean-rakentamisen tavoitteiden kanssa.

Myös Sacksin ym. (2010) ja Fossen, Ballardin ja Fischerin (2017) tulosten perusteella lean-periaatteilla ja tietomallintamisella on erittäin vahva keskinäinen yhteys. Tästä johtuen tietomallintaminen tulee ottaa osaksi lean-periaatteiden käyttöönottoa. Tietomallinnus käsittää tiedonsiirtoon liittyviä kokonaisuuksia, joten sitä tulee hyödyntää informaatiovirtojen hallinnassa ja parantamisessa.

Sacks, Radosavljevic ja Barak (2010) esittävät rakennusteollisuuden tuotannonohjausmenetelmäksi KanBIM-menetelmää. Nimi KanBIM muodostuu lean-ajoitusjärjestelmä Kanbanista sekä tietomallintamisesta eli BIM:sta. Tietomallintamisen yhdistäminen esimerkiksi Last Plannerilla tehtyyn aikatauluttamiseen mahdollistaa tarkemman kontrollin esimerkiksi lyhytkestoisiin viimeistelyvaiheen tehtäviin, joiden valmistumisedellytyksiä ei voida täysin varmistaa viikkotasoisella tarkastelulla. Toisaalta tarkastelujakson lyhentäminen tekee suurempien tehtävien tarkastelusta hankalaa. Kyseessä on siis lean-pohjaista tuotannonohjausta yhdistettynä tietomallintamisen hyötyihin.

KanBIM pohjautuu osin Sacksin, Treckmannin ja Rozenfeldin (2009) tutkimukseen lean-rakentamisen tukemisesta työvirtaa visualisoimalla. Visualisointi perustuu 4D-aikataulun

käyttämiseen. Tämä visualisointi toimii sinänsä myös KanBIM-alustasta riippumattomasti, kun visualisointiin sopiva työkalu yhdistetään esimerkiksi Last Planner –työkaluun. Näiden kahden työkalun yhdistäminen ja automaattisen keskinäisen synkronoinnin varmistaminen edellyttää kuitenkin kehitystyötä. Esimerkki työvirran visualisoimisesta on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12 Menneiden, nykyisten ja tulevien tehtävien visualisointi 3D-mallissa (Sacks, Treckmann ja Rozenfeld 2009)

Dave, Boddy ja Koskela (2010) ovat tutkineet verkkopohjaisia ratkaisuja Last Planner –menetelmän tueksi. Perinteisin metodein toteutettu Last Planner perustuu läsnäolijoiden (esim. nokkamiehet, työnjohtajat) tietoon edellytysten täyttymisestä. Tämän tiedon hankkimiseen käytettyä aikaa (ja täten syntyvää hukkaa) voitaisiin vähentää verkkopohjaisilla tiedonsiirtoratkaisuilla, joihin voisi yhdistää myös tietomalleja.

Tietomallien käyttöä rakennushankkeisiin osallistuvien organisaatioiden välillä on tutkittu Foxin ja Hietasen (2007) tutkimuksessa Suomessa. Tietomallien yhteiskäytön toimivuus rakennushankkeen eri osapuolten välillä vaikuttaa vahvasti myös informatiivirtaan eri osapuolten välillä. Fox ja Hietanen toteavat, että tietomallintamisella saavutetaan erilaisia vaikutuksia eri organisaatioiden väliseen yhteistyöhön. Yksi näistä on informaationaalinen vaikutus, joka tarkoittaa sitä, että informaation kulku eri organisaatioiden välillä paranee tietomallien yhteiskäytön myötä.

Fox ja Hietanen (2007) löysivät myös esteitä tietomallien multiorganisatoriselle käytölle. Nämä esteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: teknologisiin ja organisatorisiin. Teknologisiin haasteisiin on sittemmin kehitetty ratkaisuja, mutta organisatoriset esteet jarruttavat tietomallien käyttöä eri organisaatioiden välillä. Suomessa tähän on pyritty vastaamaan

esimerkiksi suomalaisten rakennusalan toimijoiden yhteistyössä kehittämällä Yleisillä Tietomallivaatimuksilla (YTV 2012a). Tästä huolimatta tietomallien käyttö eri organisaatioiden välillä ei ole edelleenkään saumatonta.

Kerosuon ym. (2017) mukaan tietomallien käyttöä organisaatioiden välillä haittaavat myös eri organisaatioiden erilaiset rajapinnat sekä tiedon puutteellinen saavutettavuus tietoa tarvittaessa. Myös tiedon digitaalisuus rajoittaa osaltaan tietosisältöä, sillä digitaalinen tiedonsiirto ei pysty välittämään kokemuksen tuomaa hiljaista tietotaitoa yhtä hyvin kuin ei-digitaalinen tiedonsiirto (Neff, Fiore-Silfvast ja Dossick 2009). Myös käytön osaamiseen liittyvät rajoitteet ja siihen liittyvä tietovirran ulkopuolelle jääminen havaittiin ongelmaksi tietomallipohjaisessa tiedonsiirrossa.

2.3.3 Tietomallinnuksen hyödyntäminen tuotantovaiheen informaatiovirtojen hallintaan

Tietomallin hyödyntäminen työmaan tuotantovaiheessa on vahvasti riippuvainen mallin tietosisällöstä. Tietosisällön muuttaminen suunnitteluvaiheesta on käytännössä katsoen mahdotonta, joten tietomallin tietosisältövaatimuksissa tulee alusta alkaen ottaa huomioon työmaan tarpeet. Tästä johtuen hankkeisiin tarvitaan heti suunnitteluvaiheen alusta alkaen tietomallintamisen koordinointiin nimetty henkilö, joka kykenee valistamaan osapuolia mallin tietosisällöstä ja sen käyttökohteista rakentamisvaiheessa. Vastuuta mallien tietosisällön koordinoinnista ei siis voi täysin ulkoistaa suunnittelutoimistoille. (Latvala 2012)

Tietomalleja voidaan hyödyntää tuotantovaiheessa mm. seuraaviin tarkoituksiin (YTV 2012c, 2012d):

- Kokonaisuuden ja tilankäytön hahmottaminen,
- hankintatoimi,
- sijaintikohtainen määrälaskenta,
- mittojen ja korkeusasemien tarkastelu,
- työmaa-alueen käytön suunnittelu (mm. aidat, työmaatilat, työmaaliikenne, paikoitus, varastointi, sähkö ja valaistus),
- logistiikkasuunnittelu, kuten nostojen ja siirtojen suunnittelussa (esim. torninostureiden ulottuvuudet ja rakennushissien sijoitus),
- konepaja- ja elementtituotanto,
- laitteiden ulkomittojen tarkentaminen mm. tarvittavien haalausreittien osalta,
- työturvallisuussuunnittelu ja riskien arviointi (esim. putoamissuojaukset, suojakaiteet, suojakatokset, kiinnitykset ja ankkuroinnit),
- telinesuunnittelu,
- urakoitsijapalaverit ja työvaiheiden aloituspalaverit,
- osapuolten välinen 4D-aikatauluhallinta (suunnittelu, valmistus, asennus),
- toteuman seuranta ja
- visualisointi.

Nämä käyttötarkoitukset voidaan jakaa neljään eri työmaatoimintoon, jotka on esitetty taulukossa 8. Sama käyttötarkoitus voi esiintyä useissa toiminnoissa.

Taulukko 8 Tietomallintamisen käyttökohteet työmaatoiminnoittain

Työmaatoiminto	Käyttökohteet
Suunnitelmatiedon katselu ja visualisointi työmaalla	<ul style="list-style-type: none"> - Kokonaisuuden ja tilankäytön hahmottaminen - Mittojen ja korkeusasemien tarkastelu - Laitteiden ulkomittojen tarkentaminen mm. tarvittavien haalausreittien osalta - Urakoitsijapalaverit ja työvaiheiden aloituspalaverit - Visualisointi
Määrälaskenta ja hankinnat	<ul style="list-style-type: none"> - Hankintatoimi - Sijaintikohtainen määrälaskenta - Konepaja- ja elementtituotanto - Telinesuunnittelu - Urakoitsijapalaverit ja työvaiheiden aloituspalaverit
Aikataulutus	<ul style="list-style-type: none"> - Urakoitsijapalaverit ja työvaiheiden aloituspalaverit - Osapuolten välinen 4D-aikatauluhallinta (suunnittelu, valmistus, asennus) - Toteuman seuranta - Visualisointi
Aluesuunnitelma ja työmaatilanteen visualisointi	<ul style="list-style-type: none"> - Kokonaisuuden ja tilankäytön hahmottaminen - Työmaa-alueen käytön suunnittelu (mm. aidat, työmaatilat, työmaaliikenne, paikoitus, varastointi, sähkö ja valaistus) - Logistiikkasuunnittelu, kuten nostojen ja siirtojen suunnittelussa (esim. torninostureiden ulottuvuudet ja rakennushissien sijoitus) - Työturvallisuussuunnittelu ja riskien arviointi (esim. putoamissuojaukset, suojakaiteet, suojakatokset, kiinnitykset ja ankkuroinnit) - Telinesuunnittelu - Toteuman seuranta - Visualisointi

Suunnitelmatiedon katselu ja visualisointi työmaalla

Työmaalla toimiessa informaatiovirran toimivuus on tärkeää, sillä tiedonhankintaan käytettävä aika kasvattaa työmaalla tapahtuvaa hukkaa merkittävästi. Tietomallin tuomisella työmaalle voidaan parantaa informaatiovirtaa. Mikäli perinteiset dokumentit saadaan liitettyä mallin rinnalle, saadaan valtaosa tiedosta siirrettyä työmaatoimistolta suoraan työmaalle.

Opitz, Windisch ja Scherer (2014) käsittelevät tutkimuksessaan dokumentti- ja tietomallipohjaisten tietojen integraatiota. Vaikka tietomallinnus valtaa jatkuvasti enemmän alaa suunnittelualustana, ovat perinteiset paperipiirustukset edelleen olennainen osa rakennustyömaan toimintaa. Tietomallien ei ole tarkoituskaan korvata piirustuksia, vaan oleellista on, että piirustukset ovat yhteneviä tietomallin kanssa (YTV 2012d). Tämä johtuu tottusten lisäksi siitä, että tyypillisesti perinteiset paperidokumentit ovat sopimusteknisesti sitovia. Tämän vuoksi on oleellista kiinnittää huomiota tietomallin ja perinteisten doku-

menttien yhdistämiseen. Tietomallia ja piirustuksia voidaan täten vertailla ja havaita mahdollisia suunnitelmapuutteita ja –virheitä. Täten suunnitelmien laatua voidaan parantaa. Käytännössä PDF- ja DWG-muotoisia suunnitelmia voidaan linkittää tietomalliin, jolloin ne ovat saavutettavissa sujuvasti mallin kautta.

Tietomallin käytöllä paperidokumenttien rinnalla saavutetaan useita etuja. Mallista voidaan ottaa näkymiä, joita suunnittelija ei ole julkaissut erikseen. Lisäksi suunnitelmätiedon, kuten esimerkiksi elementtien painojen, rakennusmateriaalien tai mittojen etsiminen on huomattavasti nopeampaa mallipohjaisesti kuin perinteisin menetelmin. Täten suunnitelmätiedon saavutettavuus on tietomallin myötä tehokkaampaa kuin perinteisesti. Lisäksi tietomallin jakaminen useiden henkilöiden käyttöön on vaivattomampaa kuin paperidokumenttien, joten tiedon välittäminen oikeille kohteille helpottuu.

Tietomallien tarkasteluun sopivia ohjelmistoja on olemassa useita, joskin ne yleensä sisältävät myös mallien luomiseen liittyviä työkaluja, jotka usein tekevät ohjelmista raskaita ja monimutkaisempia. Kevyempiä ja helpokäyttöisiä, pelkästään tarkasteluun tarkoitettuja ohjelmia on huomattavasti vähemmän, niistä mainittakoon myös kohdeyrityksessä käytössä olevat Solibri Model Checker (SMC) ja kevyempi versio Solibri Model Viewer (SMV).

Koska työmaaolosuhteissa on vaikea pitää tietokonetta mukana, tietomallien käyttäminen työmaalla perustuu pitkälti kahteen erilaiseen tekniseen ratkaisuun:

- Mobiililaitepohjaiseen tietomallin käsittelyyn ja
- BIM-kioskeihin työmaalla.

Koniel (2017) ja Apell (2018) ovat tehneet opinnäytetyöt mobiililaitteiden käytöstä työmaalla tämän diplomityön kohdeyritykselle. Näissä töissä tarkastelluista mobiilisovelluksista mobiililaitepohjaiseen tietomallin tarkastelemiseen sopivaksi todettiin Trimblen kehittämä Tekla Field3D. Myös Tekla BIMsight on tarkoitettu tietomallin mobiilikäyttöön. Tekla Field3D on aikaisemmin ollut saatavilla vain iOS-pohjaisille laitteille (Sorvari ja Metelinen 2014), mutta myöhemmin se on ollut saatavissa myös Android-pohjaisille mobiililaitteille (Koniel 2017, Apell 2018). Tekla Field3D:n kehittäminen on lopetettu ja nykyään sen korvaa yhteiskäyttöalusta Trimble Connect.

Koska Trimble Connect on yhteiskäyttöalusta, sen toiminta ei rajoitu ainoastaan tietomallien tarkasteluun. Sen lisäksi Connectissa voidaan jakaa muun muassa suunnitelmadokumentteja, tehtäviä ja rakennusosien statuksia. Trimble Connectin käyttöä käsitellään tarkemmin empiirisen tutkimuksen yhteydessä luvussa 4.

BIMx on Graphisoftin julkaisema työkalu tietomallin mobiilikäyttöä varten. Aivan kuten Trimble Connectiin, voi myös BIMx-ympäristöön liittää tietomallin lisäksi myös suunnitelmadokumentteja, kuten 2D-piirustuksia. Koska BIMx on vahvasti sidonnainen Archicad-ohjelmistoon, on sen käyttäminen useiden suunnittelualojen mallien, yhdistelmämallien, esittämiseen hankalaa. Tästä johtuen Trimble Connect on ainut potentiaalinen sovellus tietomallien käyttämiseen mobiililaitteilla.

BIM-kioskit ovat työmaalle valmistettuja kokonaisuuksia, jotka sisältävät tietomallin tarkasteluun tarvittavan tietokoneen oheislaitteineen. Kohteen tietomalli päivitetään säännöllisin väliajoin tietokoneelle ja työntekijöillä on mahdollisuus tarkastella mallia kioskillä.

Kioskit ovat tyypillisesti liikutettavia, eli tietomalli saadaan käytettäväksi sinne, missä siitä on suurin hyöty työmaalla.

Vestermo ym. (2016) ovat tutkineet BIM-kioskeja ja niiden käyttöä lean-periaatteiden käyttöönottamiseksi rakennustyömailla. Tutkimuksessa havaittiin, että Sacksin ym. (2010) havaitsemista lean-rakentamisen ja tietomallintamisen 56 yhtymäkohdasta 12 saadaan kattua BIM-kioskeja hyödyntämällä.

BIM-kioskeista oli erityisesti hyötyä talotekniikkaosien tarkastelussa ja niiden käyttö vähensi suunnitelmätiedon hakemiseen kuluvaa aikaa merkittävästi. Suurin kehityskohde BIM-kioskien käytössä oli parempi koulutus, jota toivoi yli 60 % kyselyyn vastanneista työntekijöistä. (Murvold ym., 2016)

Määrälaskenta ja hankinnat

Määrälaskenta on relevanttia kustannuslaskennan lisäksi myös työmaalla, sillä työnjohtajat joutuvat usein tekemään aliurakkasopimuksia, materiaalilauksia, työsuoritteiden arviointia ja muuta vastaavaa määräpohjaisesti. Laskennan nopeus ja automatisointi tuo huomattavia etuja, sillä suunnitelmat muuttuvat tyypillisesti vielä tuotantovaiheen aikanakin.

Rakennusyhtiö Firan kehitysjohtaja Otto Alhava (2012) toteaa, että tietomallipohjainen laskenta on vähintään neljä kertaa perinteistä mittaviivainlaskentaa nopeampaa. Vielä nopeuttakin tärkeämpänä asiana hän näkee paremman vuorovaikutuksen. Käytännössä laskentaa nopeuttaa vielä enemmän se, että mallien päivittyessä laskentaa ei tarvitse tehdä yhtä laajasti uudelleen kuin mittaviivainlaskennassa, mikäli laskenta-algoritmi on tehty siten, että se ryhmittelee määrät automaattisesti.

Tietomallin avulla suunnitelmien sisältämä informaatio on saavutettavissa huomattavasti perinteisiä menetelmiä tehokkaammin, sillä määrien laskentaan liittyvästä mekaanisesta työstä valtaosa saadaan tehtyä automaattisesti tietokoneella. Lisäksi tietomallia käyttämällä inhimillisten virheiden riski määrälaskentavaiheessa pienenee. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli tietomallin laatu on korkea, voidaan tietomallin sanoa parantavan laskennan laatua ja virheettömyyttä.

Varsinaisen työmaalla tapahtuvan sijaintikohtaisen määrälaskennan lisäksi tietomalleja voidaan käyttää aliurakoiden tilaamiseen siten, että aliurakoitsija tekee tarjouksensa tietomallin pohjalta. Tätä hyödynnetään esimerkiksi muotti- ja telineurakoissa. Mallista on hyötyä myös havainnollistamiseen esimerkiksi aliurakkaneuvotteluissa, urakoitsijapalavereissa ja muissa työmaan tilannetta koskevissa palavereissa.

Dave ym. (2015) ehdottavat, että tietomallissa esiintyvät tuotteet tulisi linkittää suoraan kyseisen tuotteen tietoihin verkossa. Tämä mahdollistaisi ajantasaisen tiedon säilymisen tietomalliohjeilla koko tuotteen elinkaaren ajan kuitenkin säilyttäen kohtuullisen tiedostokoon, sillä itse mallitiedoston ei tarvitsisi sisältää tarkkoja tietoja jokaisesta objektista. Tuotehankintoja tehdessä mallia voidaan siis käyttää kattavasti hyödyksi.

Tietomalleja voidaan käyttää myös materiaalihankinnoissa, esimerkiksi konepajatuotteita tai betonielementtejä hankittaessa (Tekla 2018). Tietomallin käyttäminen elementtituotan-

non seuraamiseen on kehitysasteella. Tässä diplomityössä elementtituotannon valmiuden seuraamista mallipohjaisesti pilotoidaan luvussa 4.4.

Aikataulutus

Työmaan aikataulutus voidaan tehdä mallipohjaisesti. Tätä toimintatapaa kutsutaan 4D-aikataulutukseksi. Termi tulee 3D-suunnitelmasta, johon on lisätty neljäs ulottuvuus, aika. Mikäli suunnitelmaan lisätään kustannukset, puhutaan 5D-suunnittelusta. (Kymmell 2008) 4D-aikatauluun kirjataan projektin aikataulun kannalta kriittisten rakennusosien suunnitellut toteutusajankohdat (YTV 2013d).

4D-aikataulutus tukee Visual Management –metodia, sillä sen avulla aikataulua saadaan perinteisten paikka-aikakaavioiden ja jana-aikataulujen lisäksi visualisoitua myös kolmiulotteisessa mallissa. Näitä havainnollistavia malleja voidaan käyttää esimerkiksi urakoitsijapalaverissa visualisoimaan seuraavien työtehtävien järjestystä. Lisäksi aikataulusta voi tulostaa selkeästi eroteltuna esimerkiksi kyseisellä viikolla aikataulun mukaan asennettavat elementit. Tämä helpottaa hahmottamaan kokonaisuutta, sillä kuvia on helppo katsoa työmaalla, eikä esimerkiksi kielimuuri muodosta ongelmaa.

Pérez, Fernandes ja Costa (2016) esittävät kirjallisuustutkimuksessaan, että 4D-aikatauluttamisella voidaan merkittävästi vaikuttaa erityisesti kolmeen hukkatyyppiin: kuljettamiseen, varastointiin ja odottamiseen. 4D-aikataulun yhdistäminen aluesuunnitelmaan helpottaa materiaali- ja työvirtojen ohjausta. Täten saadaan vähennettyä hukkaa liittyen väärissä paikoissa sijaitseviin varastoihin ja työvaiheiden limittymiseen siten, että siitä aiheutuu tarpeetonta odottamista.

Helminen (2016), Puranen (2016) ja Simpanen (2018) ovat tutkineet diplomitöissään 4D-aikatauluttamista. Kaikki ovat käyttäneet 4D-aikatauluttamiseen Tekla Structures –ohjelmaa, Puranen lisäksi Navisworks-ohjelmaa. Aikataulun tarkkuus niin objektien kuin ajan suhteen tulee määrittää sopivaksi siten, että aikataulusta tulee tarkoituksenmukainen. Liian tarkka aikatauluttaminen vaatii tarpeettoman paljon työtä, kun taas liian ylimalkaista aikataulua ei voi hyödyntää täysimittaisesti. (Staub-French ja Khandoze 2007)

Kun aikataulua päivitetään säännöllisesti, eli mahdollisesti ilmeneviin ongelmiin reagoidaan tulevan työn suunnittelussa, saadaan aikataulun laatua parannettua. Lisäksi riittävän tiheä päivitysväli tukee aikataulun ajantasaisuutta, jolloin käytössä on oikea-aikainen tieto työnsuunnittelua varten.

Aikatauluttamisen lisäksi myös toteumaa voidaan visualisoida mallipohjaisesti. Tällöin eri rakennusosien toteutuneet valmistuspäivät merkitään malliin. Myös suunnitelman ja toteuman välistä suhdetta voidaan seurata. Tällöin toteuman poikkeamat aikataulusta havainnoidaan nopeasti ja korjaaviin toimenpiteisiin voidaan tarvittaessa ryhtyä. Toteuman visualisointia on kokeiltu käytännössä luvussa 4.2.

Aluesuunnitelman ja työmaatilanteen visualisointi

Työmailla tulee olla olemassa aluesuunnitelma, jotta projektin eri osapuolet ovat tietoisia työmaan järjestyksestä (Helminen 2016). Aluesuunnitelman voi tehdä mallintamalla, jol-

lolin saadaan 2D-kuvan lisäksi tarkasteltua työmaata kolmiulotteisesti. Myös mittaamisen, kapasiteettitarkastelut jne. saa tehtyä mallinnetusta aluesuunnitelmasta helposti.

Mikäli aluesuunnitelmaa päivitetään säännöllisesti yhdessä 4D-aikataulun kanssa, voidaan esimerkiksi putoussuojaus pitää jatkuvasti ajantasaisena (Simpanen 2018). Aluesuunnitelmaa voidaan myös käyttää esimerkiksi perehdytyksen yhteydessä työmaan visualisointiin, jolloin työmaan kaikki työntekijät saavat vaivattomasti tiedon työmaan järjestyksestä perustuen suhteellisen reaaliaikaiseen tilanteeseen.

Aluesuunnitelma tehdään tyypillisesti arkkitehdin tai rakennesuunnittelijan julkaiseman tietomallin pohjalta. Tähän malliin lisätään työmaalla sijaitsevia objekteja, kuten nostureita, jätelavoja, aitoja, sähkökeskuksia, kontteja jne. ja alueita, esimerkiksi kulkutiet, varastointialueet ja kaivannot. (YTV 2012d)

Aluesuunnitelman voi tehdä lukuisilla eri ohjelmistoilla. Esimerkiksi Tekla Structuresin ja SketchUpin hyviin puoliin voidaan lukea se, että niille on tarjolla kattava valikoima valmiita objekteja internet-pohjaisissa kirjastoissa. Esimerkiksi Revitillä on mahdollista kuitenkin asettaa objekteille päiväkohtainen hinta sekä käyttöaika, jolloin voidaan raportoida työmaan juoksevia kustannuksia aluesuunnitelman osalta.

Harris ja Alves (2016) ovat tutkineet tietomallinnuksen hyödyntämistä rakennusprojektin toteutusvaiheessa kyselytutkimuksen avulla. Tutkimukseen osallistui eri työntekijöitä lukuisilla eri toimenkuvilla, joista yleisimmät olivat projektipäälliköitä (48,3 %), työnjohtajia ja valvojia (22,1 %), projekti-insinöörejä (19,5 %) ja tietomallikoordinaattoreita (4,7 %).

Kuten taulukosta 9 voidaan havaita, valtaosa vastaajista käytti tietomallinnusta risteilytarkastuksiin, työmaan koordinointiin, visualisointiin ja laadunvarmistamiseen. Työmaalla toteutetuista käyttökohteista yleisimpiä olivat tarkastamiseen, laadunvalvontaan, puutelistoihin ja työturvallisuuteen liittyvät toiminnot.

Taulukko 9 Tietomallinnuksen käyttö tehtävittäin ja sijainneittain tuotantovaiheessa (Harris ja Alves 2016)

	Käyttäjien osuus, joka käytti tietomallintamista tukeakseen:	Työmaalla tehtyjen tehtävien osuus	Etäältä tehtyjen tehtävien osuus	Sekä työmaalla että etäältä tehtyjen tehtävien osuus
Törmäystarkastelua	83.9%	34.6%	43.6%	21.8%
4D-aikataulutusta	10.8%	30.0%	40.0%	30.0%
Turvallisuutta	19.4%	72.2%	11.1%	16.7%
Laadunvarmistusta	28.0%	80.8%	3.8%	15.4%
Logistiikan hallintaa	20.4%	63.2%	21.1%	15.8%
Työmaan koordinointia	61.3%	70.2%	12.3%	17.5%
Aktiviteettien/ Tehtävien hallintaa	16.1%	60.0%	13.3%	26.7%
Visualisointia ja selventämistä	45.2%	64.3%	7.1%	28.6%
Toimeksiantoja	3.2%	66.7%	33.3%	0.0%
Materiaalin hallintaa	4.3%	50.0%	0.0%	50.0%
Taloutta	17.2%	43.8%	25.0%	31.3%
Virtuaalisia malleja	17.2%	56.3%	25.0%	18.8%
Puutelistoja	16.1%	73.3%	13.3%	13.3%
Tarkastusten tukemista	4.3%	100.0%	0.0%	0.0%
Muuta	7.5%	57.1%	28.6%	14.3%

Harrisin ja Alvesin (2016) tutkimus osoittaa, että tietomallinnuksella saavutetaan etuja rakennusprojektin toteuttamisvaiheessa. Sen käyttöönotto rakennusprojekteissa ei kuitenkaan ole ongelmatonta varsinkaan työmaaolosuhteissa.

Tietomallinnuksen käyttöönotossa työmailla esiintyy tyypillisesti haasteita, mikäli työmaa-henkilöstö ei ole aikaisemmin osallistunut tietomallinnettuun hankkeeseen. Dainty ym. (2017) ovat jaotelleet käyttöönotossa esiintyvät haasteet seuraavasti:

- Perustason kokemuksen puute digitaalisuudesta johtuen vähäisestä kiinnostuksesta tietotekniikkaan ja yleinen kiinnostumattomuus uudesta teknologiasta (motivaatio),
- ei pääsyä laitteisiin tai ohjelmistoihin (materiaali),
- digitaalisten taitojen puute johtuen käyttäjäystävällisyydestä tai koulutuksen ja harjoittelun puutteesta (taito) ja
- merkittävien käyttömahdollisuuksien puute (käyttö).

Näistä kolmea viimeisintä voidaan helpohkosti tukea ulkoisesti, esimerkiksi yritystasolla. Motivaatiopuutteeseen on kuitenkin vaikea tarjota helpotusta. Henkilön omaa suhtautumista voidaan lähinnä yrittää muuttaa esittelemällä onnistumisia tietomallintamisen saralta.

2.4 Aikaisemman tutkimuksen yhteenveto

Informaatiovirroilla on olemassa ominaisuuksia, joihin keskittymällä voidaan määritellä ja rajata informaatiovirran käsitettä. Tämän tutkimuksen kulun kannalta erittäin oleellista on määritellä informaatiovirran ominaisuudet ja hyvän informaatiovirran piirteet.

Informaatiovirran ominaisuuksia ovat seuraavat:

- Virtaus voi tapahtua ihmisten välillä, järjestelmien välillä tai ihmisen ja järjestelmän välillä.
- Virtaus voi olla yhden- tai kahdensuuntaista.
- Virtaus voidaan jakaa kahteen kategoriaan: suoraan ja epäsuoraan informaatiovirtaan.
- Informaation kulkemiseen voidaan käyttää useita eri välittäjiä, esimerkiksi sähköisiä, paperisia tai suullisia menetelmiä.
- Alati yleistyvien sähköisten menetelmien kohdalla on lukuisia eri käyttöliittymiä samaan informaatioon.

Hyvä informaatiovirta

- on vaivattomasti ja tehokkaasti saavutettavissa,
- on korkealaatuista ja virheetöntä,
- on oikea-aikaista ja
- saavuttaa oikean kohteen.

Nämä havainnot aikaisemmasta tutkimuksesta luovat tukevan pohjan työn empiiriselle osuudelle, jota käsitellään seuraavissa luvuissa.

Rakennusalan tuottavuus on pysynyt vaatimattomalla tasolla jo pitkään, kun taas muiden teollisuudenalojen tuottavuus on kasvanut huomattavasti. Tähän tuottavuusongelmaan on

haettu ratkaisua niin teollisuudesta tutuksi tulleen Lean-filosofian kautta kuin digitaalisten työkalujen kokonaisvaltaisemmalla hyödyntämisellä.

Lean-rakentaminen on esiintynyt lukuisissa artikkeleissa ja konferenssipapereissa viime vuosina. Jotkin näistä käsittelevät informaation kulkua tai työkaluja, joissa informaatiiovirta on oleellisena osana. Lean-rakentaminen pohjautuu teollisuudessa käytettyyn lean-filosofiaan.

Lean-filosofia pohjautuu vahvasti ajatukseen lisäarvoa tuottamattomista toiminnoista, erilaisista hukkatyypeistä. Kun tuotannon toimintoja peilataan erityyppisiin hukkiin, saadaan käsitys siitä, missä osissa tuotantoketjua prosessia voidaan parantaa. Rakennusteollisuuden tuotantovaiheesta on havaittavissa useita näistä hukkatyypeistä.

Vaikka lean on ensisijaisesti tapa toimia, on sen pohjalta kehitetty käytännön työkaluja parantamaan tuottavuutta. Tällaisia työkaluja ovat mm. Last Planner, Big Room, solmutyöskentely ja visuaalinen ohjaus. Näistä työkaluista erityisesti Last Planneria on tutkittu laajasti. Tutkimustulosten mukaan Last Plannerilla voidaan saavuttaa merkittäviä etuja erityisesti rakentamisen tuotantovaiheen tehokkuutta ajatellen.

Lean-rakentamisen lisäksi myös erilaisilla digitaalisilla ratkaisuilla ja toimintamalleilla, eli pääosin tietomallintamisella, on saavutettu etuja informaatiiovirtaa ajatellen. Digitalisoitu suunnittelu ja tiedon jakaminen sujuvoittavat suunnitteluprosessia ja auttavat vähentämään suunnitelmavirheitä ja –puutteita. Myös työmailla tarvittavan tiedon etsiminen ja suodattaminen helpottuvat digitaalisten työkalujen myötä.

Lean-rakentamisella ja tietomallintamisella on tutkimusten perusteella havaittu olevan lukuisia yhteisiä tavoitteita, jotka tukevat myös informaatiiovirran toimivuutta rakennushankkeissa. Tästä johtuen informaatiiovirran parantamiseksi kannattaa ottaa huomioon molemmat.

Digitaalisia yhteistyöalustoja, kuten Trimble Connectia, ei ole tutkittu kovinkaan kattavasti. Näiden alustojen rooli informaatiiovirran hallinnassa on siis hieman epäselvä. Niillä on kuitenkin potentiaalia tarjota merkittäviä parannuksia informaation kulkuun, joten niiden roolia informaatiiovirran kokonaisuudessa ei tule jättää huomiotta.

Taulukossa 10 on esitetty kootusti tässä kirjallisuustutkimuksessa käsiteltyjen menetelmien vaikutukset hyvän informaatiiovirran tunnusmerkkeihin. Mikään menetelmä ei vaikuta negatiivisesti informaatiovirtaan teorian tasolla. Käytännön toteutuksessa voi kuitenkin ilmetä informaatiiovirtaa heikentäviä tekijöitä. Eniten informaatiiovirtaa tutkituista menetelmistä parantaa leanin osalta Last Planner ja tietomallintamisen osalta 4D-aikataulutus sekä 3D-aluesuunnitelma ja työmaatilanteen visualisointi.

Taulukko 10 Informaatiovirran hallintamenetelmien vaikutukset hyvän informaatiovirran piirteisiin

		Vaivaton ja tehokas saavutettavuus	Korkea laatu ja virheettömyys	Oikea-aikaisuus	Oikean kohteen saavuttaminen
Lean	Last Planner	Parantaa	Parantaa	Parantaa	Parantaa
	Big Room	Parantaa	-	Parantaa	Parantaa
	Solmutyöskentely	Parantaa	-	Parantaa	Parantaa
	Visuaalinen ohjaus	Parantaa	-	-	-
Tietomallintaminen	Suunnitelmatiedon katselu ja visualisointi työmaalla	Parantaa	Parantaa	-	Parantaa
	Määrälaskenta ja hankinnat	Parantaa	Parantaa	-	-
	4D-aikataulutus ja toteumaseu- ranta	Parantaa	Parantaa	Parantaa	-
	3D-aluesuunnitelma ja työmaatilanteen visualisointi	Parantaa	-	Parantaa	Parantaa

3 Informaatiovirtojen hallinta kohdeyrityksessä

3.1 *Perinteiset käytännöt informaatiovirran hallintaan työmaalla*

Sekä tutkijan havaintojen että haastattelutulosten perusteella informaatiovirta työmailla perustuu vahvasti työnjohdon keskinäiseen tiedonsiirtoon, sillä kukin työnjohtaja vastaa yleensä tietystä osasta työmaata. Käytännössä kokonaisuus informaatiovirrasta on vastaavan työnjohtajan hallinnassa, mutta tietoa siirretään työmaatoimistolla työnjohtajien välillä varsin oma-aloitteisesti.

Haastattelujen mukaan useimmiten työmaatoimistolla tieto liikkuu eri henkilöiden välillä keskustellen. Jotta kaikki pysyvät tilanteen tasalla, järjestetään tyypillisesti kerran viikossa palaveri, jossa käydään läpi yhteisiä asioita. Työmailla on yleensä myös yhteinen kalenteri, johon merkitään esimerkiksi palaverit ja henkilökunnan vapaapäivät, lomat ja muut poissaolot. Henkilöiden ajanhallinnan lisäksi kalenteri toimii työmaan neuvottelutilojen varuksien ylläpitojärjestelmänä.

Tutkijan havaintojen mukaan työmaiden kalentereita ei kuitenkaan yleensä käytetä työmaan aikatauluttamiseen, eli esimerkiksi materiaalitoimituksia ei merkitä kaikkien nähtäväksi. Lisäksi logistiikkaan vaikuttavat tapahtumat, kuten betonipumppaukset, mobiilinosurilla tehtävät nostot jne. puuttuvat usein kalenterista. Muutenkaan tieto työvaiheiden, kuten elementtiasennuksen ja kalustekantojen aikatauluista ei ole yleisesti nähtävillä. Kun tieto on ainoastaan yhdellä työnjohtajalla, on tiedon siirtyminen kysymisen tai oma-aloitteisen kertomisen varassa. Tämä edellyttää sitä, että toisiin työvaiheisiin vaikuttavista asioista muistetaan kysyä tai kertoa eteenpäin.

3.1.1 Suunnittelutiedon siirtäminen työmaatoimistolta työmaalle

Rakennussuunnitelmien siirtämiseen työmaatoimistolta työmaalle on tutkijan havaintojen mukaan kaksi tapaa. Näiden tapojen lisäksi yksityiskohtaista tietoa, kuten yksittäisiä mittatietoja, elementtitunnustietoja jne. voidaan siirtää puhelimitse, omilla muistiinpanoilla tai opettelemalla ne ulkoa ennen palaamista työmaalle.

Ensimmäinen tapa on etsiä oikea suunnitelmamappi ja tämän jälkeen tarvittava suunnitelma mapista. Tämän jälkeen haluttu kohta piirustuksesta kopioidaan kopiokoneella. Mikäli tarvittava alue on suurempi kuin suurin mahdollinen paperikoko A3, otetaan useita kopioita eri kohdista ja teipataan kopiot yhteen läpinäkyvällä teipillä. Mikäli tarve piirustukselle on tiedostettu ajoissa, voidaan piirustus tilata myös kopiolaitokselta, jolloin saadaan piirustus kokonaisuudessaan ja oikeassa mittakaavassa. Jos piirustusta tarvitaan pidempiaikaisesti tai ulkona on kosteaa, täytyy piirustus vielä laminoida, jotta se kestää vettä ja kulutusta.

Toinen tapa on etsiä tarvittava dokumentti projektipankista. Projektipankkia käytetään projektiin liittyvän tiedon, kuten piirustusten, selostusten, tietomallien, aikataulujen, yhteystietoluetteloiden, palaverimuistioiden, pöytäkirjojen ja muiden dokumenttien julkaisemiseen ja säilyttämiseen. Kun oikea tiedosto (yleensä PDF, joissain tapauksissa esimerkiksi DWG) löytyy, avataan se ja etsitään haluttu kohta.

Jos kuvaa ei tulosta PDF-tiedostosta 100 % skaalauksella, piirustuksen mittakaava ei enää vastaa piirustuksen nimiöön merkittyä mittakaavaa. Jos kuvaa pienentää liikaa, myös sen luettavuus kärsii oleellisesti. Tietokoneelta tulostaessa voidaan joillain työmailla tulostaa

suurempia kuvia kuin kopioidessa, sillä joiltain työmailta löytyy tulostin, ns. plotteri, jolla voi tulostaa A1-kokoisia paperiarkkeja. Tällaista tulostinta ei kuitenkaan kaikilla työmaillole, joten näissä tapauksissa joudutaan taas teippaamaan kuvia yhteen läpinäkyvällä teipillä. Tämän jälkeen kuva pitää mahdollisesti laminoida kuten ensimmäisenkin tavan kohdalla.

3.1.2 Kommunikaatio suunnittelijoiden ja tavarantoimittajien kanssa

Tutkijan havaintojen mukaan tiedonsiirto suunnittelijoiden ja tavarantoimittajien suuntaan perustuu pääosin kahteen menetelmään: sähköpostiin ja puhelimeen. Kiireelliset ja verrattain pienet tapaukset hoidetaan usein puhelimella. Mikäli asialla ei ole kiire tai se on merkittävä tai monimutkainen, käytetään yleensä sähköpostia. Sähköpostin käytön etuihin kuuluu hyvä dokumentaatio, eli kommunikaatiosta jää molemmin puolin kopio, johon voi tarvittaessa palata.

Suunnittelijan tekemän suunnitelmamuutoksen tai –päivityksen jälkeen piirustuksista ja muista muutokseen liittyvistä dokumenteista on tehtävä uudet, revisoidut versiot, jotka ladataan projektipankkiin. Tyypillisesti päivitetystä kuvista myös toimitetaan kopiolaituksen tulosteet työmaalle, jotta piirros saadaan oikeassa mittakaavassa ja laajuudessa. Päivitettyjen paperikuvien järjestyksen kanssa on oltava tarkkana, jotta kuvista on olemassa aina uusimmat versiot.

3.1.3 Tarpeellisen tiedon saatavuus

Tutkimuksessa haastatelluilta henkilöiltä kysyttiin, saavatko he tarpeeksi informaatiota oman työnsä toteuttamiseksi. Yleisimmäksi informaatiopuutteeksi osoittautui suunnitelmätiedon heikko saavutettavuus. Tämä ei johdu siitä, että tarvittavia dokumentteja olisi vaikea löytää, vaan siitä, että suunnitelmia ja niiden revisioita ei ole toimitettu työmaalle tai projektipankkiin riittävän ajoissa. Erityisesti kesäloma-aikana suunnitelmätiedon saaminen oli hankalaa ja eräs vastaaja arvioikin tästä johtuen heinäkuun työtehoksi vain 50 % tavanomaisesta.

Sen sijaan työmaan sisäinen tiedonkulku koettiin useimmissa tapauksissa riittäväksi, joskin joitain hidasteita informaatiovirrassa havaittiin. Esimerkiksi elementtiasennuksen aikataulutustieto ei ollut saatavilla muuten kuin kysymällä elementtityönjohtajalta, mutta tätä ei koettu kovinkaan suureksi ongelmaksi. Puutteet aikataulutiedon saatavuudessa nousivat esille myös yleisellä tasolla.

Mitä kokeneempia henkilöt olivat työtehtävässään ja rakennusosalalla, sitä sujuvampana he kokivat informaatiovirran työmaalla. Tämä johtuu todennäköisesti kokemuksesta ja tottuneisuudesta, mutta toisaalta myös tuoreemman koulutuksen tuoma tieto uusista teknologioista ja menetelmistä saattaa vaikuttaa vähemmän kokeneiden henkilöiden odotuksiin informaatiovirran sujuvuudesta.

3.2 Käytetyt informaatiovirran hallintametodit

Kohdeyrityksessä on kokeiltu joitain tässä diplomityössä esiteltyjä metodeja informaatiovirtojen hallintaan. Valitettavasti tuloksia ei useimmissa tapauksissa ole dokumentoitu kovinkaan kattavasti, joten tulosten tarkastelu ja vertailu on vaikeaa.

Lean-rakentaminen oli haastatteluiden perusteella huonosti tunnettua kohdeyrityksessä. Termin tunsivat parhaiten ne, joilla oli suhteellisen lyhyt kokemus rakennusosalta. He mai-

nitsivat, että termi on koulusta tuttu, mutta työelämässä se ei ole ollut esillä. Tämä viittaa siihen, että terminologiaa on alettu opettaa oppilaitoksissa viime vuosina enenevissä määrin, mutta kohdeyrityksessä lean-rakentaminen ei ole kokonaisuutena esillä.

Vaikka lean-rakentaminen terminä ei ollut yrityksessä kovinkaan tunnettu, ovat siihen pohjautuvat työkalut, kuten Last Planner, tuttuja. Last Plannerin terminä tunnistivat kaikki haastatellut henkilöt ja yhtä lukuun ottamatta kaikki tiesivät sen toimintaperiaatteen. Työkaluja ei siis mielletä osana lean-filosofiaa, vaan ne nähdään enemmän vain työntekoa helpottavina menetelminä. Big Room –menetelmä oli haastatelluille henkilöille tuttu tai melko tuttu, mutta vain yksi haastatelluista oli käyttänyt menetelmää.

Lean-rakentamiseen liittyvää koulutusta on saanut haastatelluista neljä. Kolme heistä on osallistunut Last Planner –koulutukseen ja yksi on osallistunut opiskellessaan lean-rakentamista käsitteleville kursseille. Haastatellut eivät siis olleet osallistuneet kohdeyrityksessä lean-rakentamista yleisellä tasolla käsitteleviin koulutuksiin.

Tietomallintaminen oli kaikille haastatelluille henkilöille tuttu käsite ja yhtä lukuunottamatta haastatellut henkilöt kertoivat käyttävänsä tietomallintamista työssään. Myös 4D-aikataulu oli tuttu lähes kaikille haastatelluille. 4D-aikatauluttamista ei kuitenkaan ole kehitetty käytännössä kuin kahden haastatellun henkilön projektissa. Tämä projekti on yksi tämän diplomityön tapaustutkimuskohteista, kts. luku 4.1.

Kaikki haastatellut olivat saaneet jonkinasteista perehdytystä tai koulutusta tietomallintamiseen Solibri-ohjelmiston kautta. Lisäksi haastatelluista henkilöistä kolme oli saanut koulutusta Tekla Structures –ohjelmiston käyttöön. Muihin ohjelmiin, kuten Revitiin ja Trimble Connectiin, olivat saaneet koulutusta vain yksittäiset vastaajat.

Mäki, Kerosuo ja Koskenvesa (2018) ovat tutkineet muutosprosessia lean-menetelmiin liittyvän kehityksen ja muutoksen taustalla suomalaisessa rakennusteollisuudessa. Lujatalo oli yksi tutkimukseen osallistuneista yrityksistä, joten yksi Last Plannerin käyttöä pilotoinut suunnitteluprojekti on hyvin dokumentoitu ulkopuolisen tutkijan näkökulmasta. Rakentamisvaiheen toteutuksesta ei ole olemassa kattavaa dokumentointia.

Last Plannerin lisäksi myös Big Room –työpajamenetelmää on käytetty muutamissa allianssihankkeissa. Vaikka näissä alliansseissa on kirjattu käytettävän Big Room –menetelmää, ei kyseessä määritelmän mukaan ole Big Room –menetelmä. Näissä hankkeissa kyllä kokoonnutaan yhteen, mutta työskentely samassa tilassa ei ole jatkuvaa. Kyse on siis ennemminkin siitä, että palaverit järjestetään viikoittain samalle viikonpäivälle peräkkäin pidettäväksi. Big Roomin periaatteiden mukaan tilaisuudet pidetään kuitenkin aina samassa tilassa, joten projektiin liittyvän materiaalin, kuten aikataulujen esillä pitäminen jatkuvasti on mahdollista.

Näissä Big Room -hankkeissa on käytetty toteutuksen tueksi myös muita työkaluja, kuten Last Planneria. Sitä on käytetty myös muissa suunnitteluhankkeissa ja koulutusta aiheesta on järjestetty eri puolilla Suomea. Last Planner onkin yksi kohdeyrityksen käytetyimmistä lean-pohjaisista työkaluista informaatiovirran parantamiseksi, vaikka sen lean-pohjaisuutta ei täysin tunnistetakaan yrityksen henkilöstön keskuudessa. Last Plannerin vaikutus tehostuneeseen informaatiovirtaan ja sitä kautta parempaan aikatauluttamiseen on kuitenkin tiedostettu.

Tietomallintaminen on ollut viime vuosina vahvassa kasvussa kohdeyrityksessä. Sen avulla on pyritty helpottamaan suunnitelmätiedon saavutettavuutta niin suunnittelu- kuin toteutusvaiheessakin. Toteutusvaiheessa ylivoimaisesti käytetyin tietomallintamisen työkalu on yhdistelmämallien tarkasteluun ja käsittelyyn tarkoitettu Solibri.

Solibrin täysversion käyttäjiä on kohdeyrityksen työmaan toimintoihin, tukemiseen tai laskentaan osallistuvista toimihenkilöistä yli 70 %. Tämän lisäksi kevyemmän version käyttäjiä saattaa olla jonkin verran, mutta käyttäjämääriä ei ole seurattu. Ohjelman käyttöä koulutetaan kohdeyrityksessä säännöllisesti. Lisäksi ohjelmisto on laajalti käytössä myös rakennusalan ammattikorkeakouluopinnoissa, joten merkittäväällä osalla käyttäjistä on vähintään jonkinasteinen koulutus ohjelman käytöstä.

Työmailla tietomallia käytetään haastattelujen sekä tutkijan omien havaintojen perusteella lähinnä mallin visuaaliseen tarkasteluun, työjärjestyksen suunnitteluun sekä esimerkiksi yksittäisten rakennusosien, painojen, tilavuuksien ja muiden määrätietojen selvittämiseen. Lisäksi ohjelmalla tehdään myös sijaintikohtaista määrälaskentaa esimerkiksi työsuoritteen ja materiaalitarpeen määrän arviointia varten. Tietomallilla siis pyritään helpottamaan suunnittelutiedon siirtymistä suunnittelijaosapuolilta työmaan toimintaan.

Osa haastatteluista oli havainnut tietomallista asioita, joita ei ollut edes mahdollista havaita 2D-piirustuksista niiden puutteellisuuden takia. Kaikki haastatellut olivat sitä mieltä, että tietomallista saa ainakin joitain tietoja irti helpommin kuin paperikuvista. Detaljiikan sisällyttäminen malliin nousi esiin tietomallintamisen kehityskohteena sen työmaakäyttöä ajatellen.

Kaikki haastatellut totesivat, että tietomallintaminen on heidän työnsä kannalta hyödyllistä ainakin joissain tehtävissä. Suurimpana etuna nähtiin visuaalisen tarkastelun helppous verrattuna 2D-kuviin.

Työmaakäyttöä helpottamaan ja sujuvoittamaan kohdeyrityksessä on tehty Solibri Model Checker -ohjelmistoon käyttäjärooli, joka sisältää tarkastussäännöstöjä, luokitteluita ja luokitteluihin perustuvia informaation talteenotto -kuvauksia. Tarkoituksena on ollut tehdä valmiita kuvauksia, joita voi sellaisenaan käyttää eri kohteiden analysointiin. Tällöin esimerkiksi eri kohteiden vertailu, käytönopastus, projektien vaihtaminen jne. tehdään helpommaksi.

Informaation tuottamista ja sen esittämistä työmaalla pyritään helpottamaan tietomallinnettujen aluesuunnitelmien avulla. Pääosassa aluesuunnittelua on luonnollisesti 3D-suunnittelu, sillä aluesuunnitelmassa fyysiset ulottuvuudet ovat ensisijaisia. Niiden lisäksi työmaan objekteille, kuten aidoille, kaiteille, konteille, nostureille ja työkoneille voidaan määrittää hinta- ja vuokra-aikatieta, jota voidaan viedä mallista ulos. Tämä mahdollistaa työmaan kustannusten seuraamisen työmaan varusteisiin suoraan linkitettyjen raporttien pohjalta.

Aluesuunnitelmat tehdään tavallisesti joko arkkitehdin tai rakennesuunnittelijan luoman tietomallin ympärille. Itse rakennuksen mallin lisäksi aluesuunnitelmaan tuodaan yleensä arkkitehdin julkaisema asemapiirros, joka helpottaa rakennusalueen hahmottamista. Rakennus ja asemapiirros sovitetaan yhteen siirtämällä asemapiirros oikeaan kohtaan ja kier-

tokulmaan suhteessa rakennuksen malliin, sillä täten rakennuksen mallin päivittäminen aluesuunnitelmaan on suoraviivaista. Mallin päivittäminen on tarpeen aina työmaatilanteen edetessä. Asemapiirros sen sijaan ei tavallisesti päivity työmaavaiheen aikana, joten sen päivittämiseen ei tule kiinnittää liikaa huomiota.

Mallinnetulla aluesuunnitelmalla saadaan helpotettua tiedonkulkua oleellisesti esimerkiksi perehdytystilanteessa, sillä kolmiulotteinen malli reaaliaikaisesta työmaatilanteesta on huomattavasti helpompi hahmottaa kuin 2D-piirustus. Väreillä eriteltyt alueet on lisäksi helppo erottaa toisistaan ja hahmottaa niiden sijoittuminen työmaa-alueelle.

3.3 Työmaahenkilöstön näkemykset informaatiovirran hallintamenetelmistä

Työmaahenkilöstön näkemyksiä informaatiovirran hallintamenetelmistä kartoitettiin työmaan toimihenkilöille tehtyjen haastatteluiden avulla. Työmailla tiedonkulun käytännöt olivat muodostuneet pääsääntöisesti vastaavan mestarin kokemuksen mukaan hyvistä menetelmistä, mutta myös muiden toimihenkilöiden mielipiteitä ja tottumuksia otetaan varsin hyvin huomioon. Haastattelun avulla pyrittiin selvittämään, kuinka informaatiovirtojen hallintaa tulisi kehittää kohdeyrityksessä.

Työmaan informaatiovirtaa voisi haastateltujen henkilöiden mukaan parantaa tekemällä sähköinen ilmoitustaulu, johon voisi merkitä kaikki työmaan asiat ja jossa olisi mahdollisuus viestiä myös pienistä asioista. Käytännössä tämä menetelmä yhdistäisi nykyiset toimintatavat, eli viestisovellukset ja työmaatoimistolla olevat viikkokalenterit, joihin merkitään esimerkiksi työmaahenkilöiden poissaolot, tavarantoimitukset, betonivalut, auditoinnit, palaverit ja isommat työvaiheet, jotka vaikuttavat koko työmaahan.

Sähköinen ilmoitustaulu on jo mahdollista järjestää käyttämällä sähköisessä muodossa olevaa kalenteria, johon jaetaan käyttöoikeus halutuille henkilöille. Myös pikaviestintä on helposti järjestettävissä erilaisten pikaviestisovellusten kautta. Myös Trimble Connectissa on ominaisuus, jolla voidaan jakaa tehtäviä muille projektin osapuolille. Tehtävään saa liitettyä esimerkiksi kriittisyysmääreen, aikarajan tehtävälle, tekstiä, dokumentteja ja malliobjekteja. Tätä tulisikin hyödyntää ensisijaisesti suoraan rakentamiseen liittyvissä tehtävissä. Sen sijaan pienet, esimerkiksi logistiikkaan liittyvät tehtävät on helpompi hoitaa pikaviestimien kautta. Näitä apuvälineitä voidaan käyttää sellaisenaan työmaan tiedonkulun parantamiseen.

Sähköisen viestinnän lisäksi myös palaverien pitäminen työmaatoimistolla nähtiin hyväksi tavaksi ylläpitää informaation virtaamista. Erityisesti työmaan ulkopuolisten toimijoiden kanssa palavereita kannattaa pitää, mikäli tiedonkulku tuntuu hidastuvan esimerkiksi sähköpostin välityksellä keskustellessa tai mikäli ilmenee ongelmia informaation esittämisessä ja tulkinnassa.

Työmaalla säännöllisesti toimivien osapuolten, kuten työnjohdon ja aliurakoitsijoiden välillä kannattaa pitää palavereja säännöllisesti, jotta pystytään varmistamaan tiedon siirtyminen viikko- ja päivätasolla. Tässä apuna toimii Last Planner –menetelmä, jolla suunnitellaan työvaiheiden järjestystä ja aikataulutusta.

Työtä suorittavan henkilön, esimerkiksi asennusporukan nokkamiehen, osallistuminen näihin palavereihin on hedelmällisempää kuin työnjohtajan osallistuminen, sillä nokkamies tai

muu suorittava osapuoli tekee lupaukset aina omasta puolestaan ja tietää työnjohtajaa tarkemmin työn sisällön ja mahdolliset haittatekijät. Tekijän osallistaminen työvaiheen suunnittelemiseen luo myös luottamusta tekijän ja työnjohdon välille, mikä osaltaan edistää tekemistä.

Tietomallia käytetään työmaalla paljon visuaaliseen havainnoimiseen. Sen sijaan mallien täyden tietosisällön hyödyntäminen jää huomattavasti vähemmälle, eli käytännössä tietomallia hyödynnetään ikään kuin 3D-piirustuksena. Ne, jotka käyttivät tietomallia esimerkiksi määrien talteenottamiseen rakennetyypeittäin tai sijaintikohtaisesti, kokivat tehostavansa työmaalla tapahtuvaa määrälaskentaa huomattavasti. Informaation virtaamista tietomallista työmaahenkilökunnalle voidaan siis parantaa tietomallin laajamittaisemmalla hyödyntämisellä. Tietomallien tietosisältö itsessään on nykyisellään huomattavasti korkeammalla tasolla kuin tiedon hyödyntämisen aste.

Tiedon saatavuudessa eniten puutteita kokivat ne henkilöt, joilla oli lyhyt kokemus nykyisestä työtehtävästään tai rakennusosalta ylipäänsä. Toisaalta nämä henkilöt olivat myös aktiivisempia digitaalisissa ympäristöissä, joten vertailukohta saattaa poiketa merkittävästikin verrattuna kokeneempiin henkilöihin.

Kokonaisuudessaan informaatiovirran hallinta kohdeyrityksessä perustuu työmaaorganisaation sisällä vahvasti fyysisesti työmaatoimistolla tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Tällaista tiedonsiirtoa ovat esimerkiksi seinille esiin laitetut tulosteet aikatauluista, suunnitelmista ja muista dokumenteista. Näiden lisäksi suunnitelmätietoa tarkastellaan yhä enenevässä määrin tietomallin kautta tietokoneelta. Tiedon saatavuudessa sekä paperimuodossa että tietomallin kautta ilmenee toisinaan puutteita, joita pyritään korjaamaan yhteydenpidolla informaation tuottamisesta vastaavaan tahoon. Tätä yhteydenpitoa hoidetaan suurimmaksi osaksi sähköpostitse, mutta osittain myös puhelimitse. Informaatiovirtojen hallinta on siis erilaista työmaaorganisaation sisällä verrattuna muiden osapuolten kanssa tapahtuvaan informaatiovirtaan.

4 Empiirinen tutkimus

4.1 Tapaus 1

Tapaus 1 on asuinkerrostalokohde Vantaalla. Tässä projektissa on käytetty 4D-aikatauluttamista niin runko- kuin sisätyövaiheessakin. Setälä (2017) on tehnyt kohteen 4D-aikatauluttamisen aloittamisesta opinnäytetyön. Kohteen perustiedot on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11 Tapaututkimuskohteen 1 yleistiedot

Tyyppi	Uudisrakentaminen
Suoritusvelvollisuus	KVR-urakka
Rakentamisaika	4.9.2017 – 28.2.2019
Tontti	Tasainen, ahdas
Bruttopinta-ala, m ²	6 136
Tilavuus, m ³	19 805
Runkotyyppi	Betonielementtiseinät, ontelolaattavälipohja
Työnjohtovahvuus	1 vtj, 2 tj, 1 tins

4D-aikatauluttamisen pilotoimiseen käytetty kohde sisältää kaksi asuinkerrostaloa, joihin työmaan tuotantoinsinööri on luonut 4D-aikataulun. Hän huolehtii myös aikataulun päivittämisestä ja toteumatiedon kirjaamisesta.

4.1.1 Toteutus

Aikatauluttaminen

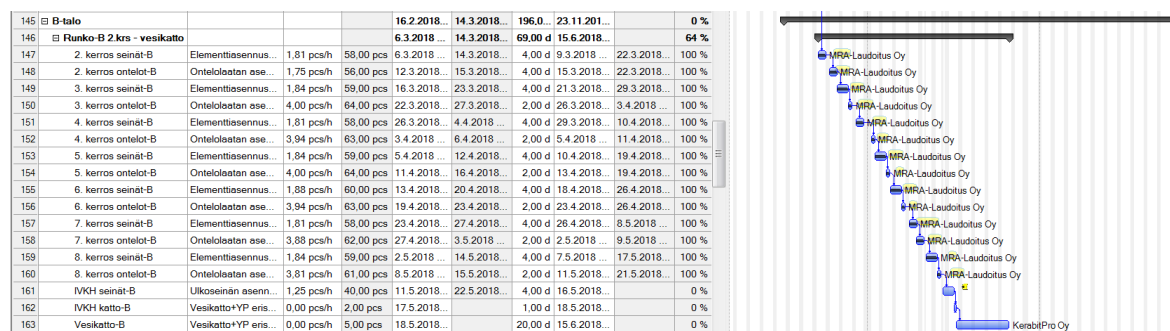
Aikataulu on tehty käyttäen Tekla Structures 2016i –versiota. Rakennemalli on alun perin tehty Tekla Structures 21.1 –versiolla, josta se on käännetty aikataulutettavaksi uudempaan versioon. Aikataulu on tehty staattiseen rakennemalliin, eli rakennesuunnittelijan mahdollisesti tekemät päivitykset eivät päivitty tietomalliin. Suunnitelma todettiin aikataulutusta varten riittävän valmiiksi ennen tietomallin kääntämistä uudemmalle Tekla-versiolle. Mikäli rakennesuunnittelija olisi käyttänyt uudempaa Tekla-versiota, oltaisiin aikataulu voitu tehdä Tekla Model Sharing –malliin. Tällöin päivitykset tulisivat suoraan 4D-aikataulun yhteyteen ja toisaalta aikataulutietoa saataisiin siirtymään myös työmaalta suunnittelijalle.

Model Sharing –pohjaista 4D-aikataulutusta ollaan pilotoimassa kohdeyrityksessä. Edellytyksenä aikataulun tekemiselle jaettuun malliin on vähintään ”Project Viewer” –tason käyttöoikeudet malliin. Tämä käyttöoikeus mahdollistaa sellaisten muutosten tekemisen objektien tietokenttiin, jotka eivät vaikuta numerointiin. ”Project Viewer” –oikeus on varsin sopiva aikatauluttamiseen, sillä se ei salli muutosten tekemistä objektien geometriaan tai muihin suunnittelutoimiston hallinnoimiin tietoihin, joten vahinkojen riski on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi ”Editor”-käyttöoikeudella.

4D-aikataulun pohjana olevan mallin jäsentelyyn kannattaa panostaa, sillä hyvin jäsennelty malli helpottaa aikataulun tekemistä, päivittämistä, visualisoimista ja toteuman seuraamista myöhemmässä vaiheessa. Mallin sijaintijaottelu on tehty kaksitasoisesti: rakennus- ja ker-

rospohjaisesti. Lohkojaolle rakennusten sisällä ei ollut tarvetta, sillä talot ovat pistetaloja, joissa ei ole tarvetta erilliselle lohkojaolle.

Itse 4D-aikataulu on tehty aikataulutusta tahdistaville töille. Näitä ovat rakennuksen runko-työ ja sisätyövaihe. Työt on jaettu aikatauluun sijaintipohjaisesti. Esimerkkikuva janakaaviosta on esitetty kuvassa 13. Aikataulussa on esitetty lisäksi tehtäviä, jotka eivät linkity mallinnetuille objekteille. Nämä tehtävät ovat näkyvissä janakaaviossa, mutta niiden aika-aulun tai toteuman visualisointi mallissa ei ole mahdollista.



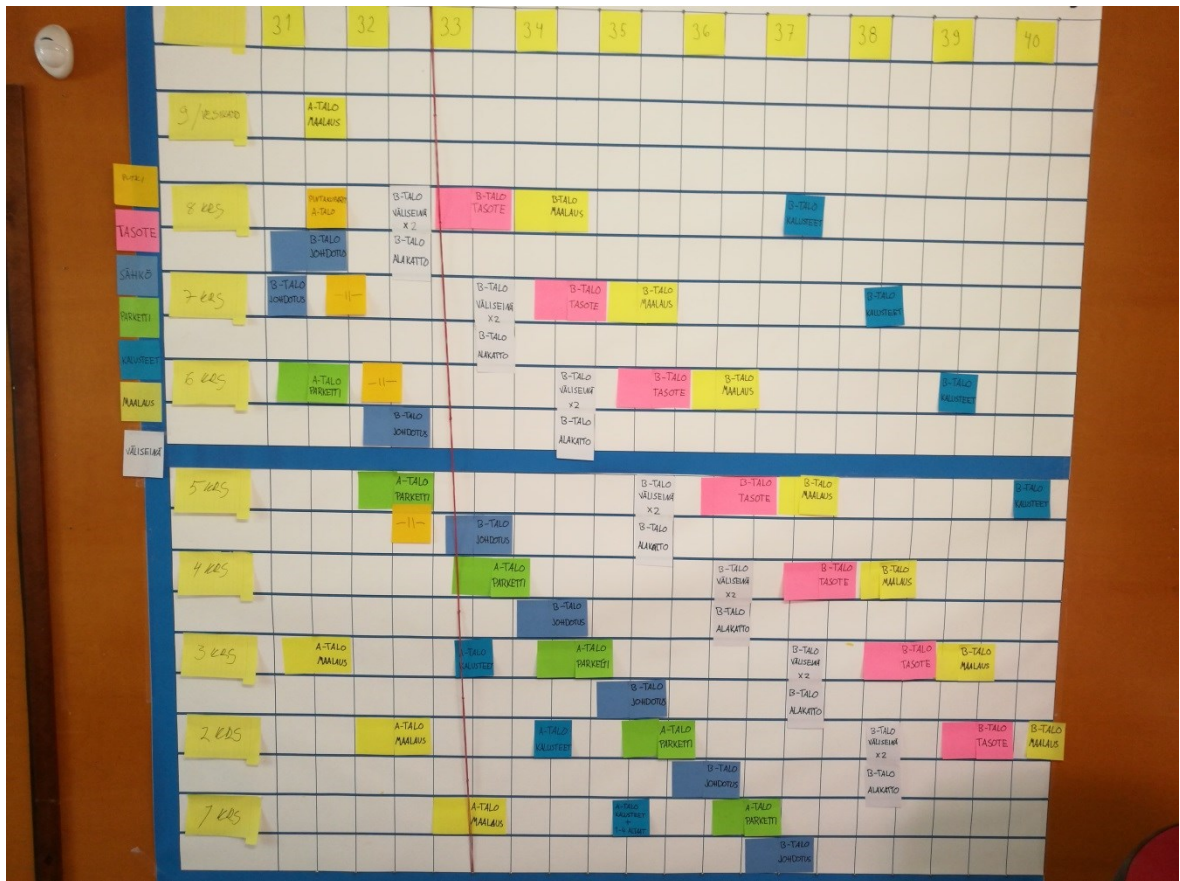
Kuva 13 4D-aikataulun janakaaviossa tehtävät on jaoteltu sijaintipohjaisesti

Tehtävien pituus määräytyy lähtökohtaisesti siihen liitettyjen objektien määrän ja tuotantoonopeuden perusteella. Joidenkin rakennusosien kohdalla on käytetty myös manuaalista syöttöä tehtävän pituuden määrittämiseksi.

Tekla Structuresilla voidaan aikatauluttaa niin natiivimallin objekteja kuin referenssiobjekteja. IFC-referenssiobjektien kanssa ongelmaksi muodostuu se, että mallin pyöriminen hidastuu huomattavasti tehokkaallakin tietokoneella. Toinen ongelma on se, että referenssiobjektien visualisointi ei onnistu samalla tavalla kuin natiiviojektien. Kun Teklassa filtereitä voidaan normaalisti asettaa toimimaan niin valinta- kuin näkymäfiltereinäkin, IFC-referenssiobjektien kohdalla filteriä voi käyttää ainoastaan valintafilterinä.

Sisätyövaiheen visualisointiin liittyvät objektit saadaan visualisoitua ja aikataulutettua runkovaiheen tapaan kääntämällä ne IFC-mallista natiiviosiksi. Tähän on olemassa valmis työkalu Tekla Structuresissa.

Sisätyövaiheen tehtäviä visualisoidaan ns. suurtehtävatasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että sisätyövaiheen tehtävät on jaettu kolmeen suurtehtävään. Suurtehtävät sisältävät alitehtäviä, joiden aikataulutusta seurataan Last Planner –menetelmällä. Samassa Last Planner –taulussa voidaan esittää useiden eri suurtehtävien alitehtäviä. Tämä helpottaa kokonaisuu- den hallitsemista Last Plannerin avulla. Työmaan Last Planner –taulu on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14 Sisätyövaiheen Last Planner -taulu sisältää suurtehtävien alitehtäviä kerrosperusteisesti jaoteltuna (Kuva: Jussi Setälä)

Suurtehtävien kokoonpano saattaa vaihdella hieman riippuen kohteen työjärjestyksestä, sillä esimerkiksi lattioiden tasotusvalu (plaano) saattaa kuulua joko lattian tai seinien suurtehtävään riippuen siitä, tehdäänkö se ennen väliseiniä vai vasta niiden jälkeen. Sisätyövaiheen tehtävien jakautuminen suurtehtäville on esitetty taulukossa 12.

Suurtehtäville voidaan linkittää mallista objektit, sillä ne on muodostettu sen mukaan, että niille saadaan järkevästi käännettyä vastaavat objektit IFC-referenssimallista. Täten suurtehtävän aikataulua ja toteumaa voidaan visualisoida.

Taulukko 12 Tehtävien jakautuminen suurtehtävittäin

Suurtehtävä	Suurtehtävään sisältyvät tehtävät
Väliseinät	<ul style="list-style-type: none"> - plaano* - väliseinärunko - väliseinän 1. puolen levytys - väliseinän sähkötyöt - väliseinän 2. puolen levytys - alakattojen runko ja levytys - tasointus - maalaus
Lattiat	<ul style="list-style-type: none"> - plaano* - kiintokalusteet - lattian pintamateriaali - oviasennus - listoitus - kodinkoneet
Kylpyhuoneet	<ul style="list-style-type: none"> - tasointus - seinien vesieristys - seinien laatoitus ja saumaus - lattian vesieristys - lattialaatoitus ja –saumaus - alakatto - vesikalustus
*jos plaano tehdään ennen väliseiniä, kuuluu se väliseinien suurtehtävään, väliseinien jälkeen tehtäessä lattioiden suurtehtävään	

Toteumaseuranta

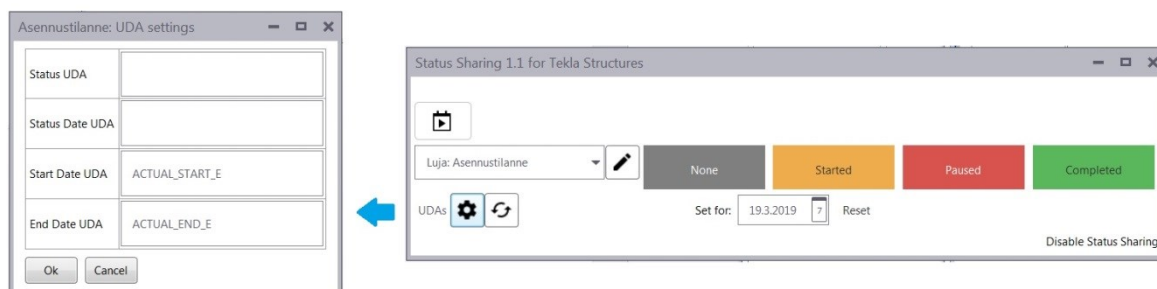
Toteumatieto tallentuu samaan tiedostoon kuin itse 4D-aikataulukin. Toteumaa voidaan kirjata kolmella eri tavalla:

- Suoraan aikataulussa esiintyvälle tehtävälle,
- suoraan Tekla Structuresissa objektille tai
- objektille Trimble Connectin kautta.

Toteuma-ajankohdat synkronoituvat tehtävien ja objektien välillä, joten näillä menetelmillä ei ole sinänsä muuta eroa kuin tapa syöttää tietoa toteutumasta malliin. Suurin osa kohteesta oli jo valmistunut ennen Trimble Connect –pohjaisen toteumatiedon kirjaamista. Connectia kokeiltiin kuitenkin ja todettiin se varsin toimivaksi välineeksi varsinkin, mikäli kohde olisi laajempi ja siten toteumatilanteen muistaminen hankalampaa. Nykyisellään työmaainsinöörin oli helppo syöttää toteumatietoa malliin myös työmaatoimistolta käsin, sillä kohteen kerrokset ovat toisiaan toistavia ja pistetalon elementtimäärä kerrosta kohden varsin maltillinen.

Käytännössä toteuma kirjataan Trimble Connectia käyttäen samaan tapaan kuin luvussa 4.2. Toteuman kirjaamista helpottaa se, että Trimble Connectin saa kytkettyä suoraan Tekla-malliin. Tällöin tulee varmistua siitä, että Connectiin viety IFC-malli vastaa täysin Tek-

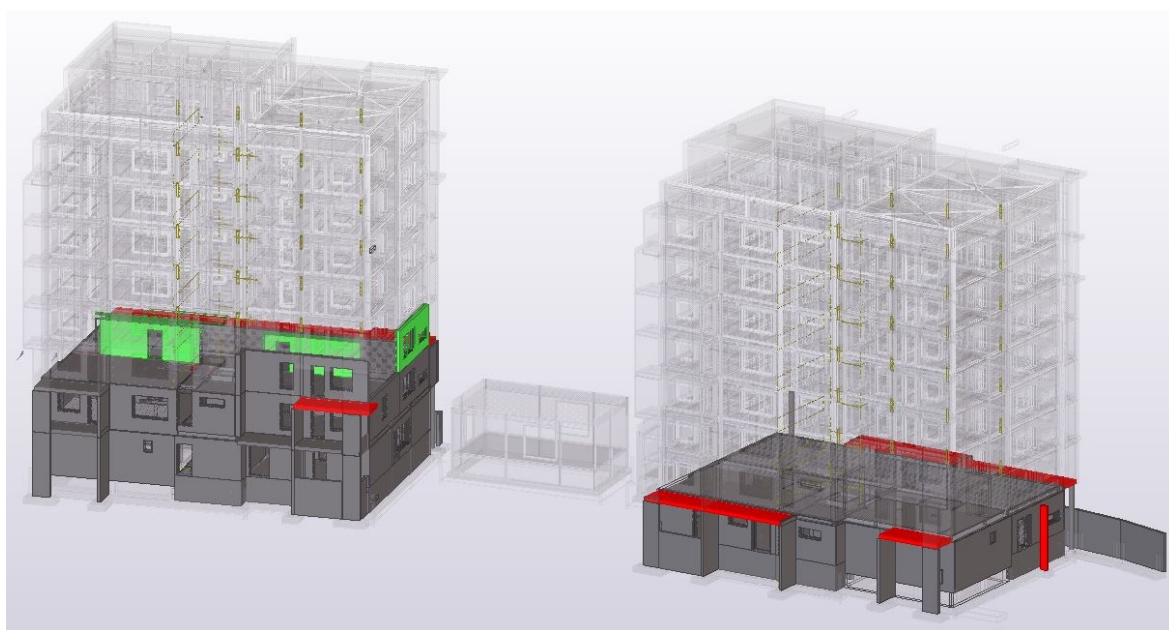
la-natiivimallia erityisesti GUID-arvojen osalta. Toteumatiedon siirtämiseen Teklaan käytetään Status Sharingin Tekla Structures –lisäosaa. Prosessi sinänsä on melko yksinkertainen, joskin UDA-kentät, joihin statustieto halutaan tallentaa, on määriteltävä kuten kuvassa 15.



Kuva 15 Status Sharingin Tekla-lisäosan UDA-asetukset

4D-aikataulun ja toteuman visualisointi

Aikataulun ja toteuman visualisointi perustuu kunkin objektin suunniteltujen asennuspäivien vertailuun toteutuneisiin asennuspäiviin. Näitä ajankohtia verrataan tarkasteluajankohtaan ja objektit esitetään eri väreillä näiden parametrien mukaisesti. Kuvassa 16 on esitetty aikataulun ja toteuman visualisointi ja vertailu.



Kuva 16 Toteuman ja aikataulun vertailu. Vihreä kuvaa etuajassa asennettuja elementtejä, kun taas punainen kuvaa aikataulusta myöhässä olevia elementtejä. Harmaat ovat jo asennettuja elementtejä ja läpikuultavat ovat elementtejä, joita ei vielä ole asennettu.

Suurtehtävien sisältämien alitehtävien valmistumista ei voida suoraan visualisoida, mutta itse suurtehtävän toteumaproosenttia voidaan käyttää alitehtävien visualisoimiseen. Käytännössä tämä tehdään siten, että muutetaan suurtehtävän toteumaproosentin laskenta komponenttipohjaisesta laskennasta alitehtäviin pohjautuvaan laskentaan. Kun tietty alitehtävä merkitään valmistuneeksi, nousee toteumaproosentti sen mukaan, montako alitehtävää kyseisellä suurtehtävällä on. Tätä toteutumisproosenttia voidaan visualisoida mallissa. Koska

tehtävien järjestys ei voi vaihdella suurtehtävien sisällä kovinkaan suuresti, voidaan tätä visualisointia pitää melko kattavana tarkoitukseensa.

4.1.2 Haasteet

Kattava 4D-aikatauluttaminen vaatii tarkoituksenmukaiset tietotekniset välineet. Lisäksi tulee varmistua siitä, että työmaahenkilöstöllä on välineiden lisäksi tarvittavat taidot sekä aikaa päivittää 4D-aikataulua sekä toteumatietoa malliin. Päivittäminen jää työmaan muiden kiireiden vuoksi helposti tekemättä, minkä jälkeen sen ajantasaisuus, tarkkuus ja käytettävyys kärsivät oleellisesti.

Jotta aikataulusta saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä, tulisi työmaan lisäksi myös muiden rakennushankkeen osapuolten, kuten elementtitoimittajien päästä käsiksi 4D-aikataulun sisältävään malliin. Tämä mahdollistaisi sujuvan tiedonsiirron työmaan ja muiden toimijoiden välillä, mutta mikäli aikataulua käytetään ohjaamaan toimintaa, tulee sen ajantasaisuudesta varmistua.

4.1.3 Vaikutukset informaatiovirtaan

Aikataulun visualisointi on malliesimerkki visuaalisesta ohjauksesta. Visuaalisen esityksen avulla mahdolliset puutteet aikataulussa on helppo havaita ajoissa. Tämä nopeuttaa tarvittaessa korjaaviin toimenpiteisiin ryhtymistä.

4D-aikataulun saavutettavuus on nykyisellään hieman heikolla tasolla, sillä sen käsitteleminen vaatii melko raskaan ohjelmistoympäristön käyttämistä. Tästä johtuen pääsy informaatioon on jonkin verran rajoittunutta. 4D-aikataulua ylläpitävän henkilön tulee huolehtia siitä, että tieto aikataulusta tavoittaa oikeat kohteet riittävän sujuvasti.

Perinteinen jana-aikataulu esitettynä esimerkiksi tulosteena työmaatoimiston seinällä on siis helpommin saavutettavissa kuin 4D-aikataulu, mutta toisaalta 4D-aikataulusta voidaan tehdä tulosteita, joiden saavutettavuus on täysin yhtenevä jana-aikataulujen kanssa. Täten saavutettavuus suhteessa jana-aikatauluun on puutteellista vain 4D-aikataulun tarjoamien parannusten osalta. Mahdollisuus vastaavaan saavutettavuuteen siis säilytetään, mikäli tullaan muista ominaisuuksista.

4D-aikataulun virheettömyyttä voidaan edistää sillä, että aikataulun toteutettavuutta seurataan säännöllisesti. Näin aikataulu pysyy aina ajan tasalla ja toteuman vertaaminen siihen on hedelmällistä. Sopiva päivitysväli täytyy kuitenkin arvioida tarpeen mukaan, ettei päivittämisestä tule itsetarkoitus, vaan se palvelee käyttötarkoitustaan ilman liiallista resurssitarvetta.

4D-aikataulun ja toteumaseurannan reaaliaikaisuus riippuu toteutuksesta, mutta parhaimmillaan sillä voidaan päästä jopa minuuttitason tarkkuuteen. Tämä edellyttää käytännössä sitä, että elementtityönjohtaja tai asennusporukan nokkamies kirjaa jokaisen asennetun elementin asennetuksi välittömästi asennuksen jälkeen. Lisäksi toteuman seuranta tulee toteuttaa suoraan ohjelmistoympäristöä käyttäen, sillä erilaiset tulosteet jne. aiheuttavat viivettä informaation kulkuun.

Käytännössä aikatauluun pääsee käsiksi mistä tahansa ja milloin tahansa, kunhan tekniset edellytykset ja käyttöön vaadittavat lisenssit ovat olemassa. Tällöin pääsyn informaatioon

voidaan todeta olevan käytännössä aina oikea-aikaista. Pääsyn jakaminen informaatioon voidaan järjestää helpohkosti järjestämällä käyttöoikeus ja tarvittava laitteisto niille henkilöille, jotka informaatiota tarvitsevat.

Käytännössä oikean kohteen saavuttamisen varmistaminen jää 4D-aikataulun ylläpitäjän vastuulle, sillä hän jakaa käyttöoikeuksia aikatauluun. Lisäksi projektiin osallistuvien yritysten tulee varmistua teknisistä edellytyksistä sekä hankkia tarvittava ohjelmistolisenssi.

Visuaalisessa muodossa oleva aikataulu on helppo tapa siirtää tietoa asennusrytmistä esimerkiksi elementtiasennusryhmälle, sillä sen avulla pystytään osoittamaan tietyinä ajanjaksona, kuten päivänä tai viikkona asennettavat elementit. Kuvan muodossa annetulla ohjeella vältetään myös mahdolliset kielimuurista aiheutuvat ongelmat. Visuaalista esitystä on Sundaramin (1996) mukaan myös helpompi tulkita kuin kirjallista esitystä.

Menetelmän vaikutukset hyvälle informaatiovirralle tyypillisiin ominaisuuksiin on koostettu taulukossa 13.

Taulukko 13 4D-aikataulutuksen vaikutukset hyvän informaatiovirran tunnusmerkkeihin

Vaivaton ja tehokas saavutettavuus	Ei merkittävää vaikutusta
Korkea laatu ja virheettömyys	Parantaa
Oikea-aikaisuus	Parantaa
Oikean kohteen saavuttaminen	Parantaa

4.2 Tapaus 2

Tapaus 2 on toimitila- ja asuinrakentamista yhdistelevä kohde Espoossa. Projektissa on käytetty Trimble Connect –yhteistyöalustaa erityisesti elementtiasennuksen, mutta myös esimerkiksi kevytsorarakenteisten väliseinien, julkisivun lasiseinien ja ikkuna-asennusten seuraamiseen. Kohteen perustiedot on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14 Tapaustutkimuskohteen 2 yleistiedot

Tyyppi	Uudisrakentaminen
Suoritusvelvollisuus	Kokonaisurakka
Rakentamisaika	2.1.2018 – 30.12.2020
Tontti	Tasainen, erittäin ahdas
Bruttopinta-ala, m ²	29 913
Tilavuus, m ³	107 543
Runkotyyppi	SW-elementit ulkoseinällä, elementti-/paikallavalurakenteiset väliseinät, ontelolaattavälipohja
Työnjohtovahvuus	1 vtj, 5 tj, 1 tins

4.2.1 Toteutus

Myös tässä tapaustutkimuskohteessa yritettiin tehdä 4D-aikataulua Tekla Structuresilla, mutta esteeksi muodostui rakennesuunnittelijan käyttämä ohjelmistoversio 21.0. Ohjelmistoversioon ei haluttu tehdä muutoksia kesken projektin mahdollisesti esiintyvien ongelmien välttämiseksi, joten 4D-aikataulutusta päätettiin yrittää IFC-referenssitiedoston pohjalta.

Tekla Structures 2017 ei kuitenkaan toiminut odotetusti referenssitiedoston kanssa, vaan ongelmia esiintyi mm. ohjelman stabiiliuden sekä komentojen huomattavan hitaan toiminnan kanssa. Myöskään kaikki tarvittavat ominaisuudet eivät toimineet IFC-referenssitiedoston kanssa toimiessa. Lisäksi yleisaikataulu oli tehty alun perin tehty Planet-ohjelmalla, josta tiedonsiirto Teklaan osoittautui hankalaksi lähinnä yhteensopimattomien tiedonsiirtorajapintojen vuoksi.

4D-aikataulutus päätettiin jättää edellä mainituista syistä pois tapaustutkimuskohteesta, ja tutkimus keskitettiin Trimble Connectin käyttöön runko- sekä ikkuna- ja lasiseinäasennusten seuraamisessa. Lisäksi tutkittiin informaation saavuttamista mobiililaitteen avulla työmaaolosuhteissa.

Kohteessa ei ole kohdeyrityksen omia työntekijöitä. Aliurakoitsijoiden keskuudessa tietomallien käyttöön on kiinnostusta, mutta tietomallista saatua tietoa ei siirretä suoraan mallin kautta työmaalle, vaan epäsuorasti esimerkiksi kuvakaappausten ja 2D-kuviin muistiin kirjoitettujen mittatietojen kautta. Näitä tietoja käytetään esimerkiksi runkoviemärien kaadon tarkistamiseen. Osasyys tietomallien käyttämättömyyteen työmaalla on se, että aliurakoitsijat eivät tarjoa työntekijöilleen tarvittavaa laitteistoa, käytännössä tablet-tietokonetta, tietomallien tarkasteluun työmaalla.

Pääurakoitsijan työnjohdolla on pääsy tietomalliin sekä työmaatoimistolta että mobiililaitteelta. Mallia käytetään kuitenkin pääasiassa vain työmaatoimistolta, sillä tabletin pitäminen mukana työmaalla katsotaan hankalaksi. Työmaan dokumentointiin, TR-mittausten tekemiseen ja muihin mobiililaitteita vaativiin tehtäviin käytetään etupäässä puhelinta, joka kulkee mukana vaivattomasti. Puhelimen näyttö on kuitenkin liian pieni tietomallin tehokkaaseen tarkasteluun.

Jotta tietomallin tarkastelu työmaalla olisi mahdollisimman helppoa ja oleellinen tieto saadaan suodatettua mallista esiin, on työmaatoimistolla tehty etukäteen valmiita näkymiä, joissa on näkyvissä tietyn työvaiheen kannalta oleelliset asiat. Esimerkiksi parkkihallin kannet on poistettu yleisnäkymästä, sillä ne asennetaan vasta rakennusten runkojen valmistuttua. Täten laatat eivät peitä näkymää alimpiin kerroksiin ja mobiililaitteella saadaan helposti näkyviin todellista tilannetta vastaava malli.

Toteumaseuranta tehdään Trimble Connectin avulla käyttäen apuna Status Sharing –lisäosaa. Samoja statusvaihtoehtoja ja niiden tulkintoja käytetään sekä runkotöiden että lasiseinä- ja ikkuna-asennusten toteuman seurantaan. Käytännössä ikkunat ja lasiseinät sekä teräs-, kevytsora- ja betonielementit ovat niin nopeita asentaa, että statusta ”Aloitettu” ei tarvita kyseisten komponenttien asennuksen seuraamiseen ollenkaan.

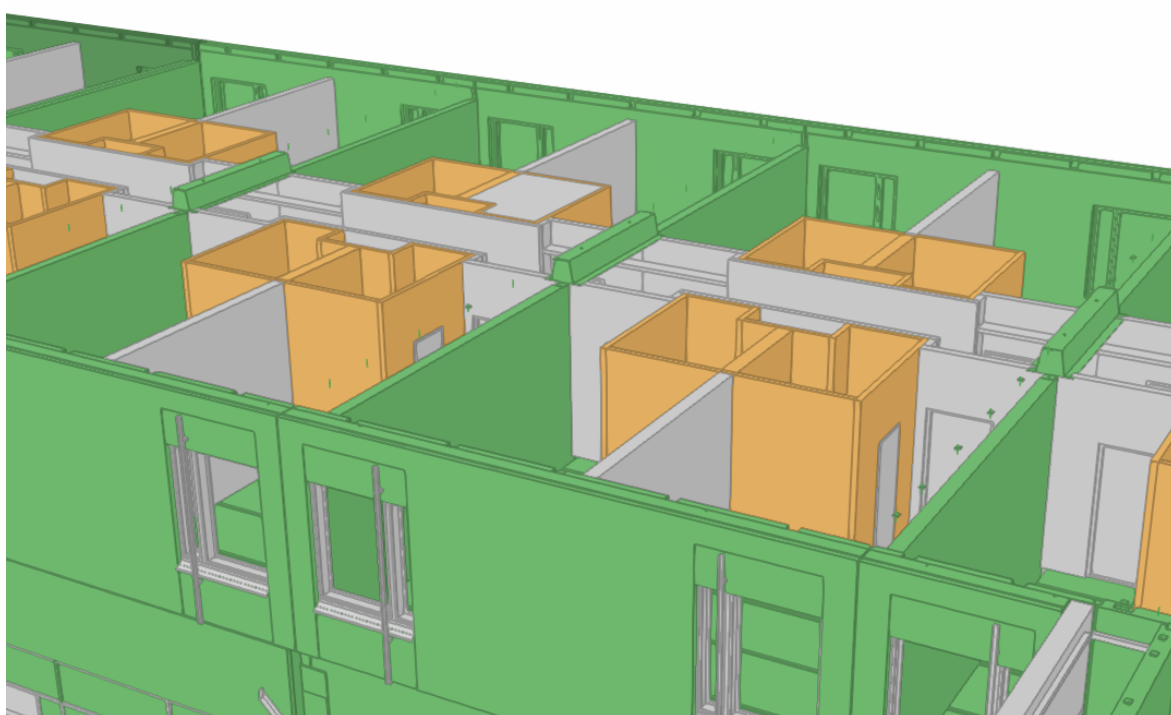
Kyseistä statusvaihtoehtoa voidaan kuitenkin hyödyntää paikallavalurakenteiden toteuman kirjaamiseen. Tällöin statuksella ”Aloitettu” ilmaistaan paikallavalurakenne, joka on muotitus- tai rauditusvaiheessa. Kun betoni on valettu, muutetaan status ”Valmiiksi”. Betonin kuivumista ei huomioida toteumakirjauksessa. Kuivumisaika pitää huomioida erikseen, mikäli toteumatietoa käytetään seuraavien työvaiheiden aikatauluttamiseen.

Myös kevytsoraelementeistä koostuviin seiniin käytetään ”Aloitettu”-statusta. Tässä tapauksessa kyseistä statusta käytetään ilmaisemaan, milloin kyseinen seinä on valmis ns.

”raakapinnalla”, kun varsinaista ”Valmis”-statusta käytetään, kun seinän pintakäsittely on tehty. Eri komponenttityyppien statuksia on esitetty kuvassa 17.

Taulukko 15 Statusvaihtoehdot ja niiden visualisoinnit ja tulkinnat

Status	Visualisointi	Tulkinta
Tyhjä	Harmaa	- Ei tulkintaa: Käytetään mahdollisten virheiden korjaamiseen
Aloitettu	Oranssi	- Paikallavalurakenne on muotitus- tai raudoitusvaiheessa - Kevytsoraelementit on asennettu
Keskeytetty	Punainen	- Komponentin asentaminen on keskeytetty
Valmis	Vihreä	- Elementti, ikkuna tai lasiseinä on asennettu - Paikallavalurakenteen valu on suoritettu - Kevytsorarakenteisen seinän pintakäsittely on tehty



Kuva 17 Toteumastatuksia elementeillä, ikkunoilla ja kevytsoraseinillä

Toteuman kirjaamisesta vastasi tutkija. Tilanne ei ollut ideaali, sillä päivitysväli venyi viikon mittaiseksi ja tuore tieto työmaalta jäi saavuttamatta. Lisäksi toteumaa kirjatessa ei ollut varmuutta missä päin työmaata töitä on tehty, joten toteuman kirjaaminen kesti jopa yli tunnin, koska tutkijan piti käydä koko työmaa läpi, tarkkailla edellisen viikon tilannetta tabletilla ja tarkistaa, missä on tapahtunut edistystä.

4.2.2 Haasteet

4D-aikataulutus olisi saatu otettua mukaan projektiin, mikäli rakennesuunnittelijan käyttämä ohjelmistoversio olisi ollut ajantasainen. Lisäksi aikataulun ottamista mukaan osaksi tietomallia olisi helpottanut se, että aikataulu olisi alunperinkin tehty mallipohjaisesti suoraan Tekla Structuresiin, tai toissijaisesti muuhun ohjelmaan, josta aikataulu saadaan helposti siirrettyä Tekla Structuresiin.

Tekla Structuresin käyttö 4D-aikataulutuksessa mahdollistaisi myös rakentamistilanteen mukaisen mallin käytön 3D-aluesuunnitelmassa. Rakennemallista voitaisiin suodattaa IFC-tiedostoon ne komponentit, joiden toteutunut asennuspäivä on jo mennyt. Näin saataisiin pidettyä aluesuunnitelman sisältämä malli rakennuksesta ajantasaisena ja visuaalisesti informatiivisena. Ilman toteumaseurannan yhdistämistä joudutaan aluesuunnitelmassa käytetty malli suodattamaan manuaalisesti vastaamaan todellista tilannetta.

Koska rakennuksen runko on esitetty rakennesuunnittelijan IFC-mallissa, kun taas muut komponentit on esitetty arkkitehdin IFC-mallissa, joudutaan toteumaa kirjatessa pitämään näkyvissä kahta eri mallia. Jotta statustiedon asettaminen olisi mahdollisimman helppoa, tulee arkkitehtimallista suodattaa pois näkyvistä ne osat, jotka ovat rakennemallin komponenttien päällä.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikki ulkoseinät ja muut kantavat seinät sekä ala-, väli- ja yläpohjat joudutaan suodattamaan arkkitehtimallista pois. Tämä sulkee pois esimerkiksi valmiiden lattiakorkojen ja seinien pintarakenteiden tarkastelun toteumamallista. Myöskään toteumaa ei näille rakenteille voida kirjata samalla näkymällä, vaan näkymiä tulee olla useita. Tämä näkymien välillä vaihtaminen hankaloittaa toteuman kirjaamista.

Toteumatiedon kirjaamisen pitäisi ehdottomasti olla työmaahenkilöiden vastuulla. Ideaalitapauksessa toteuman kirjaisi malliin työn suorittanut henkilö tai asennusryhmän nokkamies, mutta myös joko työtä suorittavan urakoitsijan tai pääurakoitsijan työnjohto on soveltuva osapuoli toteuman kirjaamiseen. Työmaan ulkopuolinen henkilö ei pysty kirjaamaan toteumaa tehokkaasti, sillä hänellä ei ole yhtä hyvää käsitystä työmaan tilanteesta.

Tähän liittyy myös toteuman päivitystiheys. Tässä tapaustutkimuksessa tutkija kirjasi toteumaa malliin noin viikon välein. Tämä on liian pitkä päivitysväli, sillä viikossa työmaa ehtii edetä huomattavasti. Jotta toteumatieto saadaan pysymään riittävän ajantasaisena, tulisi se päivittää vähintään kerran päivässä.

4.2.3 Vaikutukset informaatiovirtaan

Informaation saavutettavuus paranee tässä tapaustutkimuskohteessa tutkittua menetelmää käyttämällä. Tieto työmaan tilanteesta on esimerkiksi työpäällikön tai muiden projektinjohtoon kuuluvien henkilöiden saavutettavissa, mikäli heille jaetaan käyttöoikeus Connect-projektiin. Saavutettavuutta parantaa myös se, että tietoon on pääsy niin mobiililaitteella kuin myös tietokoneella toimistolta käsin.

Informaatio ei tässä tapaustutkimuskohteessa ole virheetöntä, sillä toteumatiedon siirtämisessä tietomalliin ja siten muille projektin osapuolille oli huomattavaa viivettä johtuen työmaaorganisaation ulkopuolisesta toimijasta toteumatiedon kirjaamisessa. Tämä johtaa siihen, että tiedot kirjaava henkilö ei ole täysin perillä työmaan senhetkisestä tilanteesta, joten tiedon etsiminen työmaalta kestää tarpeettoman kauan. Lisäksi työmaaorganisaatioon

kuulumaton tutkija kirjaa toteumaa malliin vain kerran viikossa, jolloin tieto on enimmäkseen jopa viikon vanhaa. Tällöin luotettavamman tiedon tilanteesta saa käymällä suoraan työmaalla, joten menetelmän käyttö ajautuu toissijaiseksi.

Vaikka informaatio on vanhentunutta, eli virheellistä, on sen oikea-aikaisuus varsin hyvällä tasolla. Tämä johtuu siitä, että tietosisältöön on jatkuva pääsy. Lisäksi tieto on tyypiltään sellaista, että sen tarpeen ajankohtaa on hankala arvioida etukäteen, joten jatkuvalla pääsytillä saavutetaan parannusta informaatiiovirtaan. Ilman digitaalista alustaa tieto olisi saavutettavissa käytännössä ainoastaan raportoinnin yhteydessä tai erikseen kysymällä, jolloin informaatio ei välttämättä ole aina heti saatavilla.

Tiedon jakaminen eri osapuolille oli tässä kohteessa tehotonta, sillä informaatio ei saavuttanut kaikkia kohteita, jotka tietoa olisivat tarvinneet. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi projektinjohto, joka ei käyttänyt järjestelmää johtuen sen sisältämän tiedon virheellisyydestä. Tiedon siirtyminen eri osapuolille oli siis melko samalla tasolla kuin ilman menetelmää. Käytännössä tiedon jakaminen eri henkilöille on kuitenkin helposti hallittavissa ohjelmistoympäristön käyttöoikeuksia jakamalla.

Menetelmän vaikutukset hyvälle informaatiovirralla tyypillisiin ominaisuuksiin on koostettu taulukossa 16.

Taulukko 16 Tapaustutkimuskohteen vaikutukset hyvän informaatiovirran tunnusmerkkeihin

Vaivaton ja tehokas saavutettavuus	Parantaa
Korkea laatu ja virheettömyys	Heikentää, parannettavissa mm. työmaaorganisaatiota osallistamalla
Oikea-aikaisuus	Parantaa
Oikean kohteen saavuttaminen	Ei vaikutusta, parannettavissa

4.3 Tapaus 3

Tapaus 3 on toimitilakohde, jossa Trimble Connectia on käytetty IV-konehuoneiden putki- ja ilmanvaihto-osien asentamisen suunnitteluun ja aikatauluttamiseen. Kyseisessä korjaushankkeessa tarkastellut IV-konehuoneet ovat kokonaisuudessaan uusia, joten tapausta voitaisiin sellaisenaan soveltaa myös uudisrakentamisen kohteissa. Kohteen perustiedot on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17 Tapaustutkimuskohteen 3 yleistiedot

Tyyppi	Korjausrakentaminen
Suoritusvelvollisuus	Projektinjohtourakka
Rakentamisaika	1.5.2018 – 29.3.2019
Tontti	Tasainen, ahdas
Bruttopinta-ala, m ²	23 475
Tilavuus, m ³	144 780
Runkotyyppi	Betoni – puu-/teräsr., ontelolaattavälipohja
Työnjohtovahvuus	1 vtj, 3 tj, 1 tins

4.3.1 Toteutus

Kohteelle on luotu projekti Trimble Connect –ympäristöön. Palvelimelle on ladattu eri suunnittelualojen tietomallit:

- Arkkitehtimalli,
- rakennemalli,
- IV-mallit,
- keskuspölynimurimallit,
- vesi- ja viemärimallit,
- pohjaviemärimallit,
- lämmitys- ja jäähdytysmallit,
- sähkömallit ja
- sprinklerimallit.

Arkkitehti- ja rakennemallia lukuun ottamatta eri suunnittelualojen mallit on jaoteltu kerroksittain ja lohkoittain erillisiin tietomalleihin. Tästä johtuen malleja on poikkeuksellisen monta, yhteensä 33 kappaletta. Mallien jakaminen eri tiedostoihin kerros- ja lohkojaon mukaan on Trimble Connectia ajatellen kätevää, sillä varsinkin mobiiliiversiolla mallien sisäisen kerrosjaon käyttäminen on hankalaa. Erillisiä mallitiedostoja voi kuitenkin kätevästi pitää näkyvissä tai piilotettuna tarpeen mukaan.

Connect-ympäristöön voidaan jakaa pääsy projektin eri osapuolille riippumatta heidän edustamastaan yrityksestä. Näin projektin ylläpitäjä voi antaa pääsyn malleihin, dokumentteihin ja muihin projektin tietoihin varsin helposti. Pääurakoitsijan lisäksi pääsy on oleellista sallia ainakin aliurakoitsijoille, jotka käyttävät mallia.

Konehuoneiden tarkastelua varten on tehty erikseen valmiita näkymiä, jotta Connectin käyttö mobiiliversiolla työmaalla on helpompaa. Näkymissä on esimerkiksi otettu näkyviin vain IV-konehuone, jolloin suunnistaminen mallissa IV-konehuoneiden kohdalle käy helposti. Lisäksi näkymistä on poistettu tarpeettomia objekteja. Jäljelle on jätetty vain tilaa rajaavat seinät ja kyseisessä tilanteessa tarkasteltavat putket ja kanavat.

Kohteen alkuperäinen aikataulu on tehty Tocomanilla. Aikataulun teossa ei ole hyödynnetty tietomallia. Tämän vuoksi konehuoneiden osalta on luotu erillinen aikataulu tietomalliin. Tämä aikataulu mukailee alkuperäistä aikataulua, mutta ei sinänsä vaikuta siihen. Kyseessä ei siis varsinaisesti ole 4D-aikataulu.

Connect-ympäristön avulla seurataan toteutusta aikatauluun nähden. IV- ja LV-asennuksille on luotu molemmille omat toimenpiteensä (Status actions), sillä kyseisillä asennuksilla on erilliset urakoitsijat. Myös aikataulua ja toteumaa varten on luotu omat toimenpiteensä. Näitä toimenpiteitä päällekkäin vertailemalla voidaan tarkastella asennustyön etenemistä suhteessa aikatauluun.

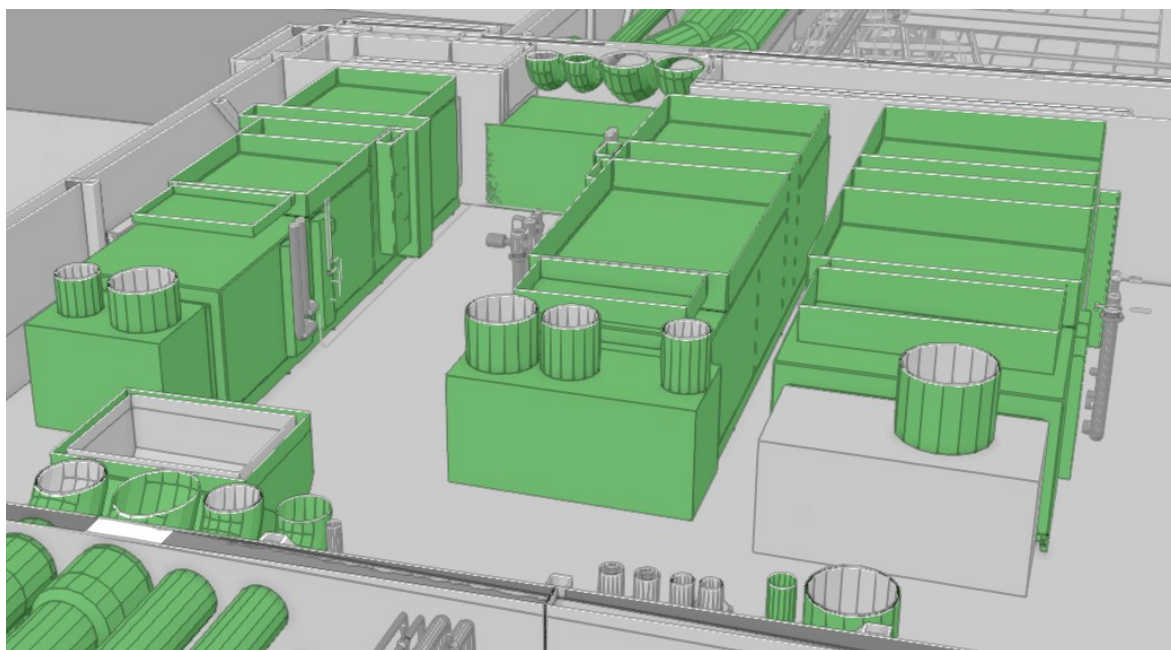
Toteuman seuraamisessa on käytetty neljää eri statusvaihtoehtoa: tyhjää, aloitettua, valmista ja keskeytettyä. Eri statusvaihtoehtojen tulkinnat on esitetty taulukossa 18. Käytännössä objekteja merkitään harvoin aloitetuiksi, sillä komponentit ovat esivalmistettuja. Tästä johtuen niiden asentaminen on nopeaa. Tästä syystä yksittäisen osan asentaminen on kesken vain hyvin lyhyen ajan eikä sitä kannata erikseen merkitä toteumatietona, ellei asennukses-

sa esiinny ongelmia, jotka venyttävät asennuksen kestoa merkittävästi. Asennetut osat merkitään suoraan statuksella valmis.

Asennuksen keskeyttämisen merkitseminen on niinkään harvinaista, sillä ilmenneet ongelmat korjataan yleensä nopeasti ja asennusta päästään jatkamaan. Tyhjä-statusa käytetään mahdollisten virheiden korjaamiseen, sillä kertaalleen asetettua statusarvoa ei voi poistaa, vaan tilalle on asetettava jokin muu status. Kuva 18 havainnollistaa IV-asennusten toteumatiedon diskreettiä luonnetta valmiuden suhteen.

Taulukko 18 Statusvaihtoehtojen visualisoinnit ja tulkinnat

Status	Visualisointi	Tulkinta
Tyhjä	Harmaa	Ei tulkintaa: Käytetään mahdollisten virheiden korjaamiseen
Aloitettu	Oranssi	Osan asentaminen on aloitettu
Keskeytetty	Punainen	Osan asentaminen on keskeytetty
Valmis	Vihreä	Osa on asennettu



Kuva 18 IV-asennusten toteumaa

Toteuman kirjaamisesta vastasi alkuvaiheessa kohdeyrityksen työnjohtaja sekä myöhemässä vaiheessa myös urakoitsijan työntekijä. Asennuksista vastaavien yritysten työnjohtajat ja nokkamiehet eivät käytä suunnitelmätiedon tarkasteluun Connectia, vaan Solibria. Vaikka tietomallissa on esitetty tarkat paikat jokaiselle putkelle ja kanavalle, urakoitsijat saattavat tehdä pieniä muutoksia niiden sijainteihin. Muutoksia tehdessä pidetään kuitenkin huoli siitä, että ratkaisu on toimiva ja että tehdyt poikkeamat eivät vaikuta toisen urakoitsijan vastuualueeseen kuuluviin asennuksiin.

IV-konehuoneen asennuksen aikataulu on tiukka, eikä työvaiheiden välissä ole aikataulupuskuria. Asennus kokonaisuudessaan on aikataulutettu viiden viikon mittaiseksi, josta ensimmäiset kaksi viikkoa on varattu IV-asennuksille ja jälkimmäiset kolme LV-asennuksille.

Asennusta tekevät työntekijät huolehtivat tekemänsä työn dokumentoinnista. He kokevat palkitsevana sen, että saavat merkitä aloitetun työn tai yksittäisen osan asennuksen valmiiksi.

4.3.2 Haasteet

Toteuman kirjaaminen objekteille on melko työlästä, sillä talotekniset mallit sisältävät runsaasti pieniä objekteja. Tätä ajatellen talotekniikka-alojen tietomallien tulisikin koostua suuremmista kokonaisuuksista. Tämä on kuitenkin ongelmallista, sillä tällöin menetetään suuri osa mallin tietosisällöstä. Kokonaisuutta ajatellen mallinnus on sopivalla tasolla.

Putkieristeet hankaloittavat talotekniikkaosien toteumaseurantaa, sillä asennetuksi tulee helposti merkittyä vain eriste, vaikka todellisuudessa asennettuna on itse putki tai kanava. Tämä käy ilmi kuvasta 18, jossa IV-kanavien eristeet on merkitty asennetuiksi, mutta itse kanavat on jätetty merkitsemättä. Ratkaisuna tähän voisi olla eristeiden suodattaminen erilliseen mallitiedostoon. Tämä kuitenkin kasvattaisi entuudestaan suurta mallitiedostojen kokonaismäärää.

Haasteena voidaan pitää myös sitä, että ohjelmistopohjaisista syistä johtuen kertaalleen annettua statusarvoa ei voi enää perua. Tämä johtaa siihen, että on käytettävä tyhjää status-ta virheiden korjaamiseen. Käytännössä asialla ei ole kovin suurta merkitystä menetelmän toimivuuteen, mutta sen korjaaminen sujuvoittaisi menetelmän käyttöä.

Tapaustutkimuskohteessa nousee esille myös se, että näkymät tulisi tehdä aikaisemmassa vaiheessa, käytännössä hyvissä ajoin ennen IV-konehuoneiden asennustyön alkamista. Lisäksi urakoitsijoiden tulisi olla mukana näkymien laadinnassa, jotta päätökset esitystavoista olisivat olleet yhteisiä. Alkuvaiheessa tulee siis päättää mitä näkymissä esitetään ja missä muodossa.

Suunnitteluvastuu on kohteessa tilaajalla. Tietomallinnuksen koordinointi on hieman ontuvaa, mistä syystä mallit eivät ole ristiriidattomia. Tällaisissa tapauksissa kommunikaatio pitäisi saada toimimaan viiveettä asennustyön tekijän tai asennusryhmän nokkamiehen ja suunnittelijan välillä.

4.3.3 Vaikutukset informaatiovirtaan

Tietomallin tuominen työmaalle helpottaa työnjohdon työtä. Se mahdollistaa mallien havainnollistamisen työmaaympäristössä, joten suunnittelutieto saadaan käyttöön tehokkaasti. Lisäksi Connectiin on mahdollista tuoda myös PDF- ja DWG-muotoisia dokumentteja, joten myös perinteisemmät suunnitelmat saadaan ympäristön avulla tuotua työmaalle saataville.

Työntekijöiden kannalta tiedon saavutettavuus ei ole yhtä hyvällä tasolla. Tähän vaikuttaa suuresti se, että Connect-projektiin on pääsy vain pääurakoitsijan työnjohdolla, ei käytännön työtä tekeillä aliurakoitsijoilla. Käytännössä heidän pitää hankkia informaatiota muilla keinoilla tai kysyä työnjohdolta, mikäli haluavat tarkastella tietomalleja mobiililaitteelta.

Connectin avulla siirrettävä tieto ei ole aina virheetöntä, sillä asennuksia ei aina tehdä täsmälleen mallin osoittamiin sijainteihin. Lisäksi toteumatieto kirjataan malliin päivasalla,

eli aina päivän päätteeksi. Toisaalta kirjattua tietoa asennuksista ei ilman kyseistä menetelmää olisi olemassa, joten sinänsä vaikutusta voidaan pitää positiivisena.

Oikea-aikaisuus ja oikean kohteen saavuttaminen on Connectin kautta siirrettävässä informaatioissa hyvällä tasolla, sillä siihen on jatkuva pääsy useasta eri käyttöliittymästä. Tämä edellyttää soveltuvia tietoteknisiä välineitä sekä ohjelmiston käytön osaamista. Nämä olivat työnjohdolla hyvin hallussa, sillä heillä oli käytössään tablet-laitteet ja heitä oli koulutettu ohjelman käyttöön.

Toisaalta näitä hyvän informaatiovirran ominaisuuksia rajoittaa se, että asennusporukalla ei ole suoraa pääsyä projektille. Tämä vaikuttaa erittäin negatiivisesti tiedonsaannin oikea-aikaisuuteen ja oikean kohteen saavuttamiseen, sillä mallin sisältämä tieto esimerkiksi asennettavien putkien ja kanavien sijainnista on ensisijaisen tärkeää tietoa itse asentajalle, ei niinkään työnohtajalle.

Koska työtä suorittava osapuoli ei käytä työssään omaa mobiililaitetta eikä heille siten ole jaettu pääsyä projektille, saavuttaa informaatio työnjohdon kohdalla kohteensa huomattavasti perinteisiä menetelmiä tehokkaammin, kun taas työntekijöiden kohdalla sen saavutettavuus kärsii hieman.

Menetelmän vaikutukset hyvälle informaatiovirralle tyypillisiin ominaisuuksiin on koostettu taulukossa 19.

Taulukko 19 Tapaustutkimuskohteen vaikutukset hyvän informaatiovirran tunnusmerkkeihin

Vaivaton ja tehokas saavutettavuus	Parantaa
Korkea laatu ja virheettömyys	Parantaa
Oikea-aikaisuus	Parantaa
Oikean kohteen saavuttaminen	Ei saavuta kaikkia kohteita, parannettavissa

4.4 Tapaus 4

Tapaus 4 on asuintalokohde, jossa on kokeiltu elementtien tuotantoketjun koordinoimista tietomallin välityksellä käyttäen Trimble Connectia ohjelmistoympäristönä. Kohde koostuu kahdesta rakennuksesta, jotka sijaitsevat etäällä toisistaan, sillä kyseessä on vanhan asuinalueen täydennysrakentaminen. Rakennukset ovat keskenään hyvin samankaltaisia. Kohteen perustiedot on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20 Tapaustutkimuskohteen 4 yleistiedot

Tyyppi	Uudisrakentaminen
Suoritusvelvollisuus	Kokonaisurakka
Rakentamisaika	1.1.2019 – 30.10.2020
Tontti	Kalteva, ahdas
Bruttopinta-ala, m ²	9 537
Tilavuus, m ³	30 570
Runkotyyppi	Betonielementtiseinät, ontelolaattavälipohja
Työnjohtovahvuus	1 vtj, 3 tj, 1 tins

Tuotantoketjun hallintaa tietomallin kautta on testattu erilaisissa hankkeissa niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Esimerkiksi Tukholman Swedbank-areenan (nyk. Friends Arena) tuo-

tantovaiheessa suunnittelijan tietomalliin luomat elementit siirrettiin suoraan elementtitoimittajan toiminnanohjaus- eli ERP-järjestelmään (Trimble 2018, Tekla 2019). Mallin mukana siirrettiin tieto elementeistä, joten elementit siirtyvät suunnittelusta tuotantoon ERP-järjestelmän sisällä.

Tässä tapaustutkimuskohteessa pyritään suunnittelijan ja elementtitoimittajan välisen informaatiovirran lisäksi tutkimaan myös elementtitoimittajan ja pääurakoitsijan välistä tiedonsiirtoa mm. elementtien valmistustilanteesta ja tehdaspaikkakunnista. Bataglin ym. (2017) ovat tutkineet integraatiota aiheen tiimoilta hieman eri menetelmin kuin tässä tapaustutkimuskohteessa.

4.4.1 Toteutus

Tietomallin integraatio elementtitehtaan ERP-järjestelmän kanssa perustuu Trimble Connectin ja sen lisäosan Status Sharingin käyttöön. Näiden järjestelmien rajapintoihin on tehty oma lisäosa, jonka avulla ERP-järjestelmästä saadaan määrättyt statukset päivittämään halutun ominaisuuden mukaisesti.

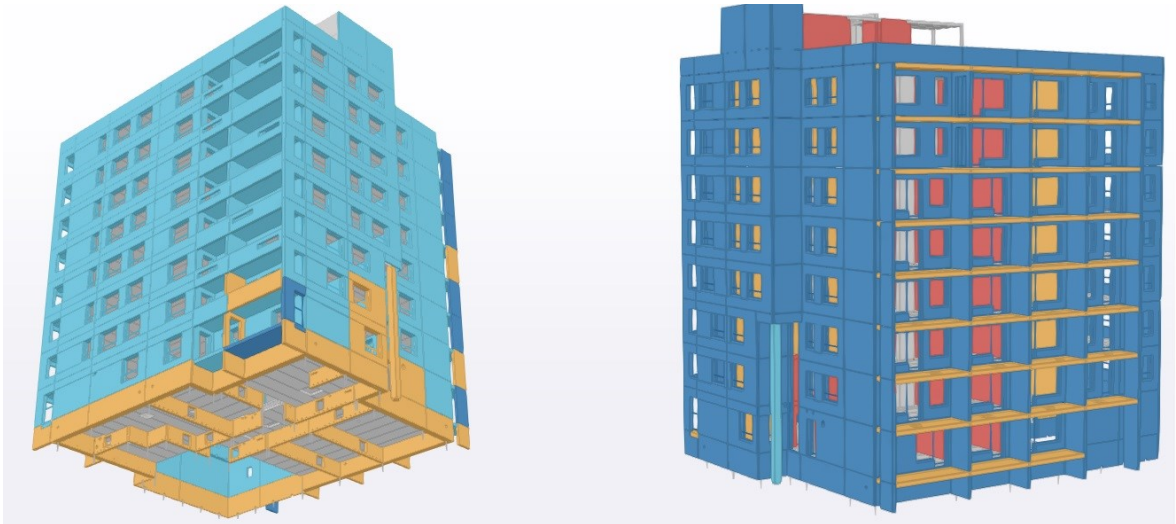
Trimble Connectin ja Tekla Structuresin yhteydessä toimiva Status Sharing sisältää kuusi eri statusta. Niiden nimet ovat kiinteitä, eli käyttäjä ei pysty vaikuttamaan niihin. Tämän vuoksi on tärkeää, että jokainen projektin osapuoli on tietoinen eri statusten tarkoituksista. Helpoiten tämä onnistuu julkaisemalla statusten tulkinnan sisältävän dokumentaation Trimble Connectissa. Näin dokumentaatio on samassa paikassa kuin itse tarkasteltava malli statuksineen, joten sen saavutettavuus on hyvällä tasolla.

Tässä pilottikohteessa elementtitoimittaja on määritellyt käytettävät statukset. Elementtitoimittajan on hyvä määritellä statukset, sillä heidän tuotannonohjausjärjestelmänsä täyttää statuksia objekteille automaattisesti. Tämän vuoksi statusten tulkintojen määrittelemisen elementtitoimittajan toiveiden vastaisesti vaatisi elementtitoimittajalta ylimääräistä ohjelmointityötä. Tässä projektissa käytetyt elementtituotannon tilannetta kuvaavat statukset ja niiden visualisointi sekä tulkinta on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21 Tuotantotilanteen visualisoinnissa käytetyt statukset ja niiden tulkinta

Status	Visualisointi	Tulkinta
Valmuis	Vaaleansininen	Elementin tiedot ja piirustus tuotu ERP-järjestelmään
Sitouduttu	Tummansininen	Elementti ohjelmoitu valuun
Aloitettu	Oranssi	Elementti valettu
Keskeytetty	Punainen	Elementti valukiellossa
Valmis	Vihreä	Elementti toimitettu

Tuotantotilanteen lisäksi objekteille siirtyy tuotannonohjausjärjestelmästä tieto tehtaasta, jossa elementti valmistetaan. Tehdastietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi kuormasuunnittelussa ja kuormien aikatauluttamisessa. Tässä projektissa tehdastiedot kirjataan erilliselle toimenpiteelle, eli tehdastieto pidetään erillään valmistumisasteesta. Tässä projektissa käytetyt elementin valmistuspaikkaa kuvaavat statukset ja niiden visualisointi on esitetty taulukossa 22. Esimerkki tuotantotiedon ja elementtitehtaan visualisoimisesta mallissa on esitetty kuvassa 19.



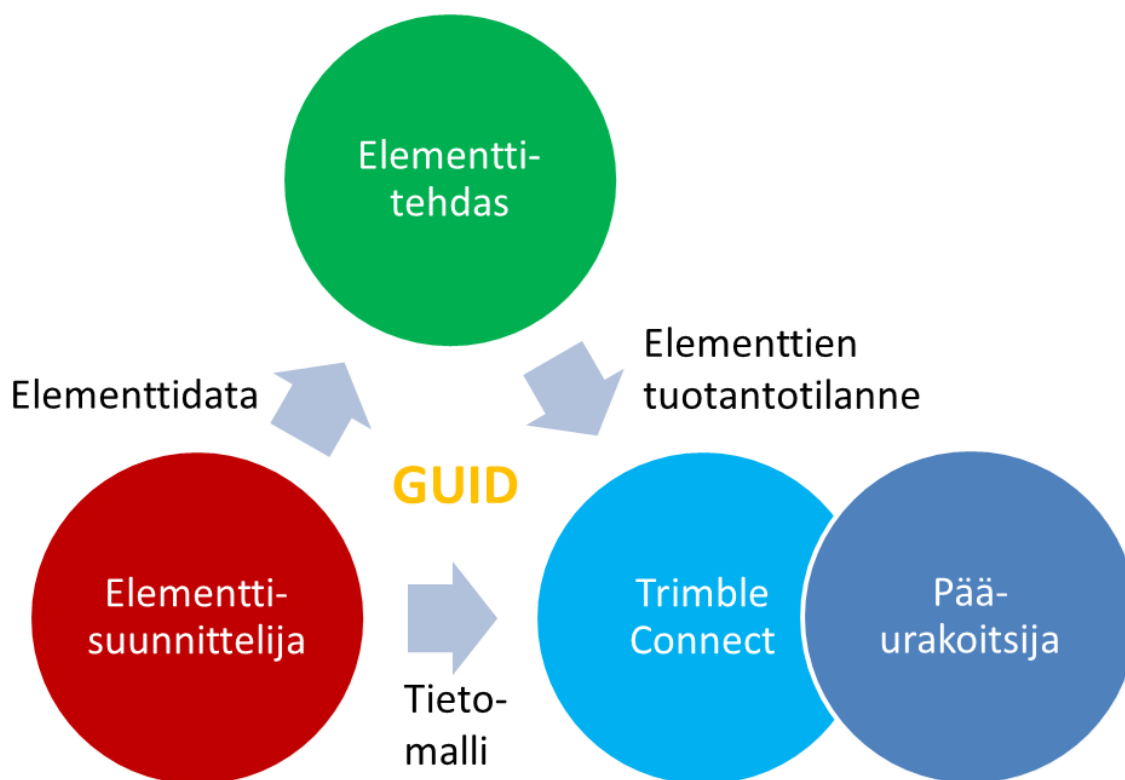
Kuva 19 Tuotantotilanteen (vasemmalla) ja elementtitehtaiden (oikealla) visualisointi tietomallissa

Taulukko 22 Valmistuspaikan visualisoinnissa käytetyt statukset ja niiden tulkinta

Status	Visualisointi	Tulkinta
Valmuis	Vaaleansininen	Tehdas 1
Sitouduttu	Tummansininen	Tehdas 2
Aloitettu	Oranssi	Tehdas 3
Keskeytetty	Punainen	Tehtaat 4 ja 5
Valmis	Vihreä	Tehtaat 6 ja 7

Rakennesuunnittelija siirtää elementtisuunnitelmat suoraan elementtitoimittajalle Tekla Structures –rakennesuunnitteluohjelmistoon tehdyllä lisäosalla. Näin suunnitelmat siirtyvät suoraan tietomallista elementtitoimittajan toiminnanohjausjärjestelmään, eikä siirto vaadi virheille herkkää manuaalista työtä. Samalla lisäosalla rakennesuunnittelija voi myös asettaa elementtejä tarvittaessa valukieltoon, jolloin tieto valukiellosta on saatavilla suoraan sekä elementtituotannossa että työmaalla.

Kaikki elementtejä koskevat tietosisällöt, jotka liikkuvat eri järjestelmien välillä, linkittyvät malliobjektin GUID-tietoon. GUID on jokaiselle elementille yksilöllinen, eli sitä voidaan käyttää yksilöivänä tunnisteena, vaikka mallissa olisi useita elementtejä, joilla on sama elementtitunnus. Eri osapuolten roolit ja informaation liikkuminen niiden välillä on havainnollistettu kuvassa 20.



Kuva 20 Elementtiedonsiirto eri osapuolten välillä yksilöllisen tunnisteiden eli GUID:n avulla

Vaikka tiedonsiirto järjestelmien välillä perustuukin yksilöivään tunnisteeseen, on järjestelmien sisällä mahdollista kadottaa yksilöivä tieto samalla elementtitunnuksella varustettujen elementtien väliltä. Elementtitoimittajan järjestelmä ei yksilöi elementtejä, sillä ne ovat valmistuksen kannalta keskenään identtisiä. Tiedonsiirtoa varten se käytännössä asettaa elementin statuksen jollekin samalla elementtitunnuksella varustetuista elementeistä.

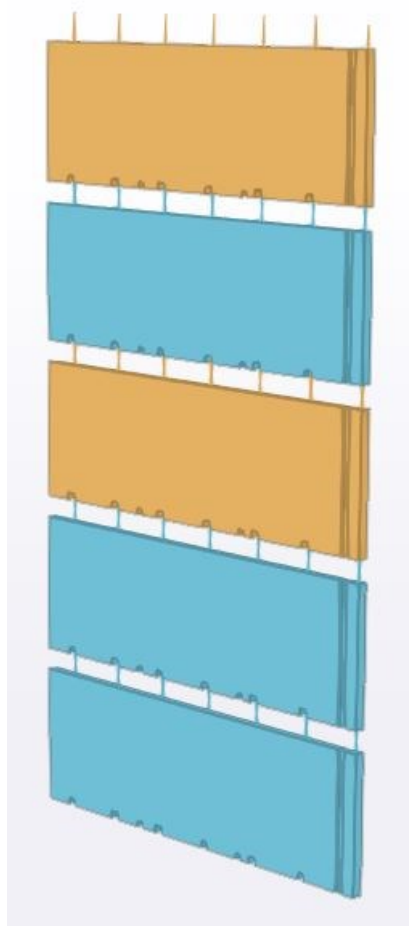
Tämä johtaa siihen, että käytännössä tuotantotilanteen kerroksittainen tarkastelu onnistuu ainoastaan elementtitoimittajan Excel-taulukoista, sillä samalla elementtitunnuksella on useita eri kerrosten elementtejä, jolloin yhden kerroksen otannalla ei voida luotettavasti todeta kerroksen elementtien valmistustilannetta.

Tästä johtuen elementtikuormat tilataan perinteisen elementtiasennusaikataulun mukaisesti listaamalla seuraavaksi asennettavia elementtejä 2D-kuvista. Nämä listat toimitetaan Excel-taulukkona sähköpostitse elementtitehtaalte. Tämä edellyttää myös tietoa elementtien valmistustilanteesta. Valmistustilanteesta saadaan tietoa joko elementtitehtaan Excel-taulukoista, joissa esitetään kunkin elementin valmistustilanne tai Trimble Connectista, mikäli samalla elementtitunnuksella ei ole useita elementtejä.

4.4.2 Haasteet

Elementtien tilaaminen työmaalle ei ole nykyisellä käytännöllä mahdollista, sillä kohteessa on useita elementtejä samalla elementtitunnuksella. Tämä on varsin tavallista, sillä päällekkäiset kerrokset ovat usein identtisiä ja täten sisältävät samanlaisia elementtejä kuin muut kerrokset.

Ongelma on havaittavissa kuvasta 21, jossa on suodatettu näkyviin kaikki samalla elementtitunnuksella varustetut elementit. Tässä tapauksessa elementeistä kaksi on valettu, kun kolmen kohdalla suunnitelmat ovat saapuneet tehtaalle, mutta valua ei vielä ole aloitettu. Todellisuudessa valetut elementit asennetaan kahden alimman paikalle, joten kerroskohtaisessa tarkastelussa elementtien valmiuden tarkasteluun syntyy virheitä.



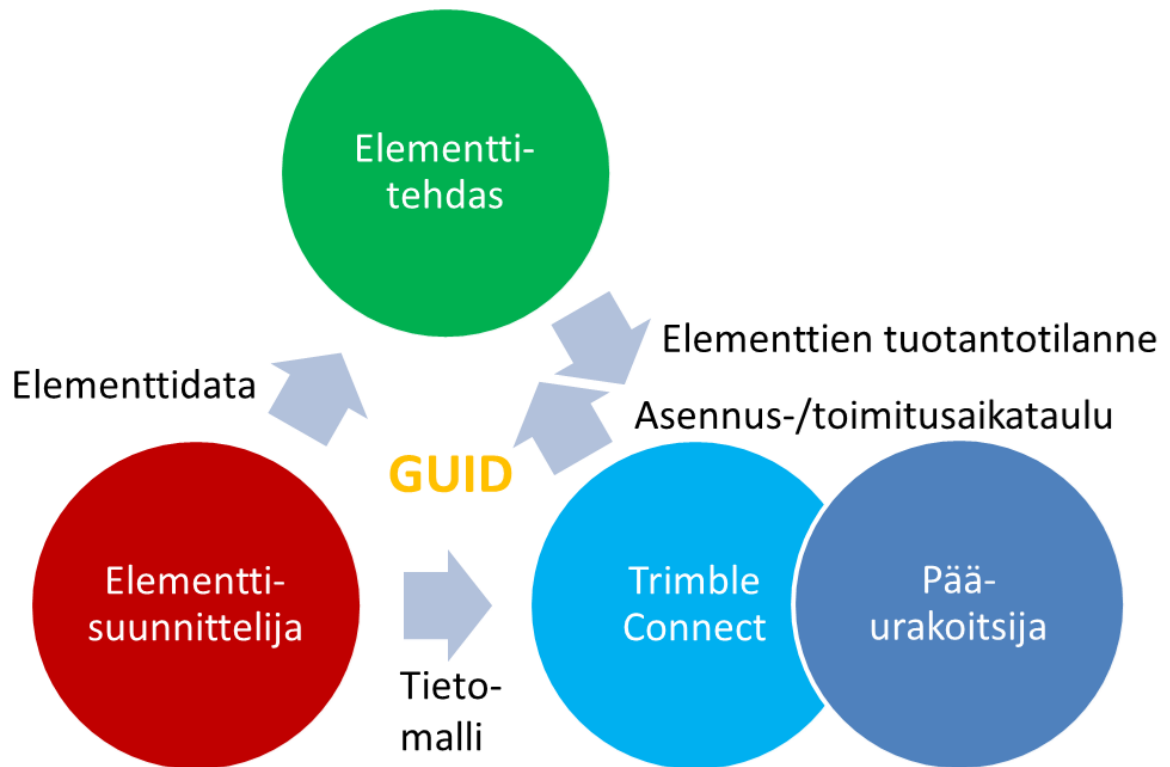
Kuva 21 Samalla elementtitunnuksella varustettujen elementtien tuotantotilanteen visualisointi tietomallissa

Toisinaan rakennesuunnittelijat käyttävät elementtinumeroinnissa erillistä elementtitunnusta jokaiselle elementille. Tällaisessa tilanteessa kerrosnumero on yleensä elementtitunnuksen ensimmäinen numero, kun jälkimmäiset numerot muodostavat tiedon itse elementistä. Tällaisella numerointitavalla samanlaisten elementtien keskinäinen vastaavuus jää kuitenkin helposti hyödyntämättä.

Mikäli samaa elementtitunnusta käytetään useilla eri elementeillä, tulisi käyttää ACN-numerointia, joka on juokseva numerointi elementeille. Vaikka ACN-numerointi kuuluu BEC-elementtistandardiin (Betoniteollisuus ry, 2012), eivät rakennesuunnittelijat näe sen käyttöä tarpeellisena. Kun elementtitunnuksen kanssa käytetään ACN-numeroa, voidaan tieto elementin sijainnista sisällyttää Connect-malliin elementtitoimittajan rajapinnan avulla.

Elementtejä ei tulisi säilöä työmaalla, vaan toimitusrytmin ja kuormien tulisi vastata asennusaikataulua (Bataglin ym. 2017). Tähän liittyvän informaatiovirran parantamiseksi elementtitilaukset ja elementtien asennusaikataulu olisi hyvä saada välitettyä elementtitehtaal-

le Connectin kautta. Käytännössä pääurakoitsijan ja elementtien asennuksesta vastaavan urakoitsijan tulisi suunnitella elementtiaikataulu mallipohjaisesti, kuten tapaustutkimuskohteessa 1. Tämän jälkeen elementtien tilaamisen voisi hoitaa perustuen huolellisesti ylläpidettyyn aikatauluun. Käytännössä aikataulua pitää siis seurata ja tarvittaessa päivittää vähintään samalla syklillä kuin perinteisin menetelmin tehdään elementtitilauksia. Elementteihin liittyvä aikataulu- ja tilaustietoa välittävä informaatiovirta on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22 Elementtitiedonsiirto eri osapuolten välillä yksilöllisen tunnisteiden eli GUID:n avulla sisältäen aikataulutietoa pääurakoitsijalta elementtitoimittajalle

Jotta tietomallin käyttö mobiililaitteella työmaalta olisi sujuvaa, pitäisi elementtien 2D-piirustukset saada linkitettyä elementeille. Tällöin elementtien raudoituksia ja muita tietoja sisältäviin dokumentteihin pääsisi käsiin sujuvasti suoraan 3D-mallinäkömästä. Tiedostojen linkittäminen objekteille on toki mahdollista manuaalisesti, mutta automaattisella linkityksellä saataisiin vähennettyä mekaanista työtä sekä pienennettyä inhimillisen virheen riskiä merkittävästi.

Käytettävissä olevat statusvaihtoehdot on nimetty kiinteästi, eikä käyttäjä voi vaikuttaa niihin. Tämä johtaa siihen, että käytännössä statusten tulkinnat tulee aina dokumentoida projektikohtaisesti. Tämä hankaloittaa tulkintaa tarpeettomasti. Sujuvamman käytön takaamiseksi ainakin statusvaihtoehtojen nimet, mutta parhaassa tapauksessa myös värit tulisi voida määritellä projektikohtaisesti.

Tuotantotilanteen visualisointi eri väreillä perustuu elementtitietoihin ERP-järjestelmässä. Koska ontelolaattatuotanto poikkeaa oleellisesti muiden elementtien tuotannosta ja niiden suunnittelu tehdään 2D-suunnitteluna, eivät niiden valmistustiedot ole järjestelmässä sa-

malla tavalla kuin muut elementit. Täten ne eivät ole visualisoitavissa nykyisellä ratkaisulla.

4.4.3 Vaikutukset informaatiovirtaan

Elementtien valmistustilanne käy ilmi mallista, johon työnjohdolla on pääsy. Näin tietoon on huomattavasti suorempi ja ajantasaisempi pääsy kuin kysymällä valmistustilannetta tehtaalta tai lukemalla tehtaan luomaa listausta elementtien valmistustilanteesta. Informaatiovirtaa heikentää tosin se, että statusten tulkinta täytyy erikseen määritellä. Mikäli statusten nimet ja visualisointivärit voisi määritellä projektikohtaisiksi, olisi tulkinta ainakin alkuvaiheessa sujuvampaa. Nykytilanteessakin statusten tulkinnat tosin omaksuu melko nopeasti.

Laadun ja virheettömyyden näkökulmasta menetelmä ei ole ongelmaton, sillä nykyisellään yksittäisen elementin valmistustilanteeseen ei voi luottaa mikäli samalla elementtitunnuksella varustettuja elementtejä on mallissa useita. Mikäli mallin elementit on yksilöity joko yksilöllisillä elementtitunnuksilla tai ACN-numeroinnilla, voidaan informaatiota pitää korkealaatuisena ja virheettömänä, sillä tieto tulee suoraan elementtitehtaan tuotantojärjestelmästä ilman välikäsiä.

Elementtien valmistustilanne on elementtiasennuksen aikana jatkuvasti oleellinen tieto. Ei siis voida helposti eritellä etukäteen koska tietoa tarvitaan. Kun tiedon tarvetta ei voida eritellä tarkasti, ovat säännöllisin väliajoin toimitettavat listat usein ajoitukseltaan vääriä. Listoja toimitetaan myös pyynnöstä, mutta tässä tapauksessa syntyy merkittävää viivettä tiedonsaannissa. Tämän vuoksi jatkuvasti saatavilla oleva ajantasainen tieto parantaa informaatiovirran oikea-aikaisuutta huomattavasti.

Pääsy informaatioon voidaan jakaa kaikille projektin osapuolille. Tässä tapauksessa tieto ei saavuttanut suoraan työnjohtoa, sillä he eivät halunneet ottaa uutta järjestelmää käyttöön edellä mainituista luotettavuusongelmista johtuen. Tieto on kuitenkin mahdollista jakaa automaattisesti kaikille, joten se saavuttaa kohteensa tehokkaammin kuin nykyiset, vain tietyille henkilöille sähköpostitse lähetettävät listaukset.

Elementtitoimittajan ERP-järjestelmän tietomalli-integraation vaikutukset hyvälle informaatiovirralle tyypillisiin ominaisuuksiin on koostettu taulukossa 23.

Taulukko 23 Tapaustutkimuskohteen vaikutukset hyvän informaatiovirran tunnusmerkkeihin

Vaivaton ja tehokas saavutettavuus	Parantaa
Korkea laatu ja virheettömyys	Heikentää, parannettavissa
Oikea-aikaisuus	Parantaa
Oikean kohteen saavuttaminen	Ei merkittävää vaikutusta, parannettavissa

4.5 Tapaustutkimuksen yhteenveto

4D-aikatauluttamisen todettiin parantavan rakentamisaikataulun hahmottamista oleellisesti. Kun samaan malliin kirjataan lisäksi toteumatietoa, on aikataulua helppo vertailla toteumaan. Tätä kautta saadaan tarvittaessa tarkennettua tiettyihin työvaiheisiin kuluva aikaa ja siten parannettua aikataulun paikkansapitävyyttä. Informaatio aikataulusta, toteumasta ja niiden keskinäisestä suhteesta saadaan 4D-aikataulussa esitettyä havainnollisesti.

Toteumaseurantaa ei ole syytä rajoittaa vain rakennuksen runkovaiheeseen, sillä myös muita työvaiheita, kuten ikkuna-asennuksia, sisätoita ja LVIS-asennuksia voidaan seurata mallipohjaisesti. 4D-aikatauluttaminen on kuitenkin varsin rajallisesti mahdollista, joten se kannattaa tehdä lähinnä runko- ja sisätyövaiheelle. Aikataulun suunnitteluun on hyvä käyttää Last Planner –menetelmää, jonka avulla aikataulu päivitetään säännöllisesti, esimerkiksi kerran viikossa.

Rakennuksen runkovaiheeseen liittyy oleellisesti informaatiovirta elementtisuunnittelijan, elementtitoimittajan ja pääurakoitsijan välillä. Tämä informaatiovirta on perinteisin menetelmin varsin heikkoa ja aiheuttaa epäonnistuessaan suuria ongelmia aikatauluun ja työvaihesuunnitteluun.

Elementtitehtaan tuotantojärjestelmän integraatio tietomalliin tehostaa informaatiovirtaa huomattavasti, sillä sen avulla inhimillisten virheiden osuus saadaan eliminoitua lähes kokonaan tiedonsiirtoprosessista. Menetelmällä saadaan parannettua oleellisesti informaatiovirtaa, joka suuntautuu elementtisuunnittelijalta elementtitehtaalte sekä elementtitehtaalte pääurakoitsijalle. Todellisuudessa etenkin pääurakoitsijan ja elementtitehtaan välinen informaatiovirta on kuitenkin vahvasti kaksisuuntaista. Tiedonsiirto urakoitsijalta elementtitehtaan suuntaan on vielä kehitysasteella.

Tapaustutkimuskohteissa käsitellyt menetelmät olivat osia, jotka johtavat parempaan informaatiovirtaan. Niitä voidaan käyttää yksittäin sellaisenaan tai kokonaisuutena, joka kuvataan yleisellä tasolla seuraavassa luvussa. Menetelmien informaatiovirtaa parantavat piirteet on esitetty koostettuna taulukossa 24.

Taulukko 24 Tapaustutkimuksessa käsitellyt informaatiovirtaan positiivisesti vaikuttavat menetelmistä

Hyvän informaatiovirran piirre	Informaatiovirtaa parantavat menetelmät	Tapaustutkimuskohteet
Vaivaton ja tehokas saavutettavuus	<ul style="list-style-type: none"> - Toteumatiedon tietomallipohjainen seuranta - ERP-integraatio esivalmistetoimittajan kanssa 	2, 3, 4
Korkea laatu ja virheettömyys	<ul style="list-style-type: none"> - 4D-aikataulut - Toteumatiedon tietomallipohjainen seuranta 	1, 3
Oikea-aikaisuus	<ul style="list-style-type: none"> - 4D-aikataulut - Toteumatiedon tietomallipohjainen seuranta - ERP-integraatio esivalmistetoimittajan kanssa 	1, 2, 3, 4
Oikean kohteen saavuttaminen	<ul style="list-style-type: none"> - 4D-aikataulut 	1

Merkittävimmät kehityskohteet menetelmissä liittyivät oikean kohteen saavuttamiseen. Tässä oli parannettavaa yhtä tapausta lukuun ottamatta kaikissa tutkituissa kohteissa. Toinen merkittävä kehityskohde oli korkea laatu ja virheettömyys, jossa parannettavaa oli kahdessa tapauksessa.

on pääurakoitsija. Connect-projektiin annetaan käyttöoikeudet kaikille projektin osapuolille: suunnittelijoille, esivalmistettujen tuotteiden toimittajille, aliurakoitsijoille jne. Ylläpitäjä huolehtii projektin käyttöoikeuksien ylläpitämisestä.

Suunnittelijoiden tekemät tietomallit ja suunnitelmat julkaistaan Connect-ympäristössä. Näin saadaan välitettyä ajantasainen suunnitelmatieto kootusti kaikille projektin osapuolille. Tämä pienentää viivettä suunnitelmatiedon siirtämisessä, sillä Connect-projektiin ladattu malli on välittömästi kaikkien osapuolten käytettävissä. Lisäksi suunnittelutietoon päästään käsiksi useilla eri laitteilla: tietokoneella työmaatoimistolta tai tabletilla työmaalta. Tietomallin avulla suunnitelmia saadaan myös visualisoitua tarpeen mukaan työmaalla sekä työmaatoimistossa.

Suunnittelija julkaisee tekemänsä esivalmistesuunnitelmat suoraan esivalmistetoimittajan tuotannonohjausjärjestelmään. Mikäli suoraa yhteyttä ei saada järjestymään, voidaan myös tämä tieto siirtää Trimble Connectin kautta. Tyypillinen esimerkki esivalmistetuotannosta on betonielementtituotanto, jolle tieto siirretään suoraan rakennesuunnittelijan suunnitteluohjelmistosta. Toinen esimerkki potentiaalisesta esivalmisteesta on moduulirakentamiseen käytettävät huonemoduulit.

Kun tiedonsiirto suunnittelijalta valmistajalle tapahtuu automaattisesti suunnitteluohjelmiston kautta tuotannonohjausjärjestelmään, vältetään manuaalisen työn tekemistä ja pienennetään inhimillisten virheiden mahdollisuutta. Virheettömyyden lisäksi menetelmä nopeuttaa tiedon liikkumista suunnittelijalta toimittajalle.

Esivalmistetuotannon tuotantotilanne välitetään muille projektin osapuolille Trimble Connectin ja Status Sharingin avulla. Tämä lisää informaationvirran läpinäkyvyyttä. Esivalmistetoimittaja määrittelee käytettävät statukset tiedon siirtämiseksi. Oleellista esivalmistetuotannon tilanne on pääurakoitsijalle, joka vastaa työmaan kokonaisaikataulusta. Tuotantotilanne on visuaalisesti esitettävissä tietomallissa. Itse tuotantotilanteen lisäksi myös muita tuotantoon liittyviä tietoja, kuten valmistuspaikka, voidaan välittää Status Sharingin kautta.

Pääurakoitsija saa Trimble Connectin kautta käyttöönsä niin suunnittelijoiden tietomallit ja suunnitelmat kuin myös esivalmisteidien tuotantotilanteen. Nämä ovat oleellisia tietoja rakennustyömaan hallintaa ajatellen. Pääurakoitsija vastaa työmaasta ja sen etenemisestä, joten sillä on runsaasti vastuuta informaatiovirran toimivuudesta.

Informaatiovirta pääurakoitsijan ja suunnittelijoiden välillä on lähes poikkeuksetta kahdensuuntaista. Suunnittelutiedon lisäksi on tavallisesti tarpeen siirtää tietoa esimerkiksi suunnitelmapuutteista tai –virheistä pääurakoitsijalta suunnittelijalle. Tämä onnistuu Connectin avulla. Viestiin voidaan liittää tekstin lisäksi esimerkiksi aikamääre asian ratkaisemiselle, kriittisyystaso, kuvia, dokumentteja sekä malliobjekteja.

Esivalmisteidien asentamiseen liittyvän aikataulutiedon siirtäminen esivalmisteidien toimittajalle on oleellista, jotta toimitusketjun jatkuvuus saadaan varmistettua. Tämän tiedon näkevät myös muut projektin osapuolet, eli myös esimerkiksi suunnittelijat voivat hyödyntää tietoa omien työjärjestystensä suunnitteluun. Aikataulutus tehdään mallipohjaisesti 4D-aikataulun avulla.

Tiedonsiirron tehokkuuden ja jatkuvuuden kannalta olisi luonnollista, että myös esivalmisteen tilaus tehtäisiin yhteistyöalustan kautta samaan tapaan kuin aikataulu- ja tuotantotilannetiedon siirtäminen. Valitettavasti tässä tutkimuksessa käsitellyssä betonielementtituotannossa tuotannonohjausjärjestelmä ei mahdollistanut elementtien tilaamista tietomallin kautta, joten esivalmisteen tilaamisen mahdollistaminen vaatii ohjelmistokehitystä.

4D-aikataulutuksen avulla aikataulua saadaan visualisoitua tietomallin kautta. 4D-aikataulu tulee tehdä sellaisella tasolla, että aikataulutettaville tehtäville saadaan määriteltyä tietomallista tehtävää vastaavat malliobjektit. Tästä syystä erityisesti sisätyövaiheessa aikataulutus tehdään ns. suurtehtävien avulla. Suurtehtävä on tehtävä, joka visualisoidaan mallissa yksittäistä malliobjektia käyttäen. Se sisältää useita yksittäisiä tehtäviä, jotka aikataulutetaan suurtehtävien sisällä käyttäen Last Planner –menetelmää. Esimerkki suurtehtävistä on esitetty tapaustutkimusluvussa 4.1.

Suurtehtävien lisäksi Last Planneria käytetään myös 4D-aikataulussa suoraan näkyvien tehtävien suunnitteluun. 4D-aikataulutus on esitystapa Last Plannerin avulla tehdyille suunnitelmalle. Sitä päivitetään Last Planner –menetelmän avulla säännöllisesti tehtyjen suunnitelmatakkennusten mukaisesti.

4D-aikataulua täydennetään toteumaseurannalla. Sen avulla seurataan aikataulun ja todellisen työmaatilanteen suhdetta toisiinsa. Tämä helpottaa mahdollisten poikkeamien havainnointia ja korjaaviin toimenpiteisiin ryhtymistä. Toteumaseuranta tehdään samoihin malliobjekteihin pohjautuen kuin 4D-aikataulu, joten toteumaseuranta on suoraan yhteensopiva aikataulun kanssa. 4D-aikataulu ja toteumaseuranta voidaan siirtää suoraan Tekla Structures –ohjelmiston avulla rakennesuunnittelijalle.

Toteumatietoa voidaan vertailun lisäksi käyttää myös 3D-aluesuunnitelman päivittämisessä. Kun malliobjekteilla on tieto asennustilanteesta, voidaan tietomallista suodattaa helposti ajantasaista toteumaa vastaavat malliobjektit. Nämä objektit voidaan viedä aluesuunnitelmaan, jolloin se pysyy ajantasaisena rakennettavan rakennuksen osalta. Tämä edesauttaa 3D-aluesuunnitelman käyttöä esimerkiksi perehdytyksissä. Kolmiulotteisesta aluesuunnitelmasta on helppo hahmottaa työmaan kokonaistilanne, joten tieto työmaan tilanteesta siirtyy tehokkaasti esimerkiksi perehdytysten yhteydessä.

Mikäli Last Planneria varten olisi olemassa tietomallinnusta tukeva digitaalinen ohjelmisto, voitaisiin 4D-aikataulu ja toteumatieto integroida Last Plannerin kanssa automaattisesti. Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi 4D-aikataulun automaattista päivittymistä Last Plannerissa tehtyjen muutosten perusteella. Kuten kuvassa 12 (s. 45) on esitetty, voitaisiin myös työvirran visualisointi yhdistää ohjelmistoratkaisuun. Tämä visualisointi mahdollistaisi suoran havainnoinnin tuotantotilanteesta työmaan eri sijainneissa. Myös tehtävien toteutumisen seuranta ja TTP:n laskeminen voitaisiin automatisoida kerätyn toteumatiedon pohjalta.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

6.1 Tulosten yhteenveto ja pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka rakennusvaiheen informaatiovirtaa voidaan parantaa leanin ja tietomallien avulla. Kirjallisuustutkimuksen avulla kartoitettiin näiden kahden tuomia mahdollisuuksia ja yhteensovittamista. Menetelmää informaatiovirran hallitsemiseen kehitettiin tämän jälkeen tapaustutkimuksella, joka sisälsi empiirisen tutkimuksen lisäksi työmaahenkilökunnan haastatteluja.

Tämän diplomityön tuloksena saatiin menetelmäkokonaisuus, jota käyttämällä rakennusliikkeen on mahdollista parantaa informaatiovirtaa rakennusprojektin tuotantovaiheessa. Menetelmä nojautuu vahvasti tietomallintamisen ja digitaalisen yhteistyöalustan käyttöön informaationhallinnan kulmakivenä.

Tutkimuksessa havaittiin, että informaatiovirtaa saadaan parannettua 4D-aikataulutuksella, reaaliaikaisella toteumaseurannalla digitaalisessa muodossa sekä esivalmistetoimittajan tuotannonohjausjärjestelmän integroimisella pääurakoitsijan yhteistyöalustan kanssa. Tähän yhteistyöalustaan on liitetty myös kohteen tietomallit, joten rakennushankkeen informaatiokokonaisuutta saadaan koottua yhteen paikkaan ja jaettua eri projektiosapuolille tarpeen mukaan.

Vaikka tuloksena oli, että kehitetty menetelmäkokonaisuus parantaa informaatiovirtaa rakennusprojektin tuotantovaiheessa, ei tulosta voida pitää yleispätevänä ohjeena siitä, kuinka urakoitsijan tulee toimia. Menetelmäkokonaisuus parantaa informaatiovirtaa, mutta ei sulje pois mahdollisuutta, että muilla tavoin saataisiin parannettua informaatiovirtaa tuloksena saatua menetelmäkokonaisuutta tehokkaammin. Modulaarisuus mahdollistaa kuitenkin myös osittaisen käytön, joten kehittäminen on mahdollista, mikäli eri osien väliset rajapinnat saadaan toimimaan sujuvasti.

6.2 Johtopäätökset ja suositukset

Lukuisissa aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että tietomallintamisen avulla on mahdollista edistää tehokasta informaatiovirtaa rakennushankkeissa. Myös erityisesti Last Plannerin osalta on raportoitu merkittäviä parannuksia tuottavuudessa. Tämän diplomityön tulokset yhtenevät aiempien tutkimustulosten kanssa. Aiempaan tutkimukseen nähden uutena tuloksena informaatiovirrat saatiin liitettyä sekä lean- että tietomallipohjaisiin työkaluihin tässä diplomityössä kehitetyn menetelmäkokonaisuuden avulla.

Tehokkaan informaatiovirran mahdollistamiseksi rakennushankkeen tuotantovaiheessa rakennusliikkeiden kannattaakin pyrkiä pitämään projektin informaatio kootusti tietyssä ympäristössä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelutiedon lisäksi myös muuta rakentamiseen liittyvää tietoa kannattaa hyödyntää digitaalisessa muodossa tietomallin rinnalla.

Kun lisäksi sekä urakoitsijan itsensä että aliurakoitsijoiden ja tavarantoimittajien käyttämät järjestelmät ovat keskenään yhteensopivia, saadaan kokonaisuudesta irti suuri hyöty. Kun eri informaatiolähteet integroidaan, on kokonaisuuden hallitseminen ja muutosten hallinta helpompaa ajantasaisesti.

Oleellinen tulos on myös se, että pääurakoitsijan osalta vastuu tuotantovaiheen informaatiovirran hallinnasta tulee olla työmaaorganisaatiolla. Rakennuskokonaisuuden hallinta esimerkiksi toimistolta käsin on käytännössä hyvin vaikeaa, sillä se vaatii syvällistä ja ajantasaista tietoa työmaasta ja sen osapuolista. Näitä tietoja on käytännössä katsoen mahdollonta saavuttaa työmaan ulkopuolelta.

6.3 Tutkimuksen rajoitteet

Tapaustutkimus tutkimusmenetelmänä rajaa tutkimusta vain käsiteltyjen tapausten ympärille. Jotta tulokset voitaisiin yleistää, pitäisi tutkimuksen otosta laajentaa ja käyttää mahdollisesti muita tutkimusmenetelmiä tapaustutkimuksen tukena. Tulosten laajentamiseksi myös muita menetelmiä ja niiden soveltuvuutta tämän työn tuloksena saatuun menetelmäkokonaisuuteen tulisi kokeilla erilaisissa rakennushankkeissa.

Koska rakennusprojektit poikkeavat toisistaan itse rakennuksen lisäksi myös projektiorganisaation osalta, on referenssikohteita menetelmän tehokkuuden mittaamiseksi melko vaikea löytää. Käytännössä referenssikohteen pitäisi olla samanlaisia, mutta ne eivät kuitenkaan saisi vaikuttaa toisiinsa, jotta tulokset eivät vääristy. Käytännössä menetelmän toimivuutta voitaisiin arvioida luotettavasti suuren otoskoon ja kvantitatiivisen tarkastelun avulla.

6.4 Jatkotutkimusaiheet

Tutkimus rajoittui rakennusprojektin tuotantovaiheeseen. Käytännössä rakennusprojektien eri vaiheet limittyvät kuitenkin siten, että niiden väliset informaatiovirrat vaikuttavat toisiinsa. Täten vain yhden vaiheen tarkastelu jättää väistämättä huomiotta osan informaatiovirtoihin vaikuttavista tekijöistä. Esimerkiksi kommunikaatiota työmaahenkilöstön ja suunnittelijoiden välillä ei ole tarkasteltu ottaen suunnittelijaosapuolen näkökulmaa huomioon, vaan tarkastelu on tehty yksipuolisesti työmaahenkilöstön puolelta.

Eri vaiheiden välisiä informaatiovirtoja olisikin hyvä tutkia ottaen huomioon nimenomaan hankekehitys-, toteutus-, laskenta- ja tuotantovaiheiden näkökulmat. Täten saataisiin hyvä kokonaiskuva siitä, miten rakennushankkeille oleellista informaatiota tulisi hallita rakentamisen vaiheissa, joiden välillä projektin henkilöresurssit tyypillisesti vaihtuvat.

Seuraava kehitysaskel työmaatoiminnan tehostamiseen tässä diplomityössä esitetyn informaatiovirtoja parantavan menetelmäkokonaisuuden suhteen voisi olla työmaan aikataulutusta ohjaava lean-pohjainen menetelmä, tahtiaikataulu. Vaikka se ei suoraan liity informaatiovirtojen hallintaan, olisi sillä mahdollisuuksia liittyä menetelmäkokonaisuuteen. Tahtiaikataulusta ja sen linkittämisestä tässä diplomityössä esitettyyn menetelmäkokonaisuuteen tulisi kuitenkin tehdä jatkotutkimusta ennen pidemmälle vietyjä johtopäätöksiä.

Haastatteluiden oleellisena tuloksena nousi esiin se, että haastateltavat eivät nähneet informaatiovirran puutteiden vaikuttaneen laatuun heidän projekteissaan. Ainoastaan kustannus- ja aikatauluvaikutukset nostettiin esille. Tämä herättää kysymyksen siitä, miten laatu mielletään. On mahdollista, että haastateltavat käsittivät laadun ainoastaan lopputuotteen laatuna, eivät niinkään rakentamisprosessin laatuna. Tästä syystä jatkotutkimusta tulisi tehdä siitä, miten informaatiovirta ja sen puutteet vaikuttavat rakentamisprosessin ja lopputuotteen laatuun.

Lähdeluettelo

- Alastalo, T. (2014). *Aikataulullisen tuotannonohjauksen kehittäminen suuressa korjausrakennushankkeessa*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Helsinki. 138 s.
- Alhava, O. (2012). Build Virtually First. Fira Oy. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://docplayer.fi/25257991-Build-virtually-first-otto-alhava.html> [Viitattu 13.2.2019]
- Apell, A. (2018). *Mobiiliohjelmistot rakennustyömaalla*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka. 77 s.
- Ballard, H. G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Väitöskirja. The University of Birmingham, Faculty of Engineering, School of Civil Engineering.
- Bataglin, F. S., Viana, D. D., Formoso, C. T. ja Bulhões, I. R. (2017). Application of BIM for Supporting Decision-making related to Logistics in Prefabricated Building Systems. In: *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Heraklion, Kreikka. s. 71-78. DOI: <https://doi.org/10.24928/2017/0278>
- Bernstein, H. M. (ed.). (2013). *Lean Construction: Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency*. SmartMarket Report. McGraw Hill Construction Research & Analytics, Bedford, MA. ISBN: 1-800-591-4462
- The Box. (2014). *The Information Economy: A Study of Five Industries*. Box, Inc. 2014.
- Broft, R. (2017). Exploring the Application of Lean Principles to a Construction Supply Chain. In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 771-779. DOI: <https://doi.org/10.24928/2017/0125>
- Chaffe, B. C. (2001). *Information Logistics: Outsourcing Solutions Can Improve Productivity*. Washington, Graduate School of Business, University of Washington.
- Chibba, A. ja Rundquist, J. (2004). Mapping flows – An analysis of the information flows within the integrated supply chain. *Proceedings of the 16th Annual Conference for Nordic Researchers in Logistics*.
- CMPartner AB. (2018). *Largestcompanies.fi – Suurimmat yritykset liikevaihdon mukaan – Suomi toimialalla talonrakentaminen*. Saatavilla: <http://www.largestcompanies.fi/toplistat/suomi/suurimmat-yritykset-liikevaihdon-mukaan-ilman-tytaryhtioita/toimiala/talonrakentaminen> [Viitattu 2.7. 2018]
- Dainty, A., Leiringer, R., Fernie, S. ja Harty, C. (2017). BIM and the small construction firm: a critical perspective. *Building Research & Information*. 45:6, s. 696-709. DOI: 10.1080/09613218.2017.1293940

Dave, B. (2013). *Developing a Construction Management System Based on Lean Construction and Building Information Modelling*. Väitöskirja. University of Salford School of the Built Environment, Centre for Urban Processes, Resilient Infrastructures & Sustainable Environments. Salford, UK. 265 s.

Dave, B., Boddy, S. C. ja Koskela, L. J. (2010). Improving information flow within the production management system with web services. *Proceedings of the 18th Annual conference of the international group of Lean Construction*. Technion, Haifa, Israel, 2010.

Dave, B., Kubler, S., Pikas, E., Holmström, J., Singh, V., Främpling, K., Koskela, L. ja Pelto-
korpi, A. (2015). Intelligent products: shifting the production control logic in construction (with Lean and BIM). In: *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia. s. 341-350.

Eastman, C. M. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers designers, engineers, and contractors*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley 2011. ISBN: 978-1-118-02167-5.

The Economist. (2017). Efficiency eludes the construction industry. *The Economist* 19.8.2017, [online]. Saatavilla:
<https://www.economist.com/business/2017/08/17/efficiency-eludes-the-construction-industry> [Viitattu 18.7.2018]

Epstein, E. (2012). *Implementing successful building information modeling*. Boston: Architect House.

Fosse, R., Ballard, G. ja Fischer, M. (2017). Virtual Design and Construction: Aligning Bim and Lean in Practice. In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 499-506. DOI:
<https://doi.org/10.24928/2017/0301>

Fox, S. ja Hietanen, J. (2007). Interorganizational use of building information models: potential for automational, informational and transformational effects. *Construction Management and Economics*. 25:3. s. 289-296. DOI: 10.1080/01446190600892995

Gray, D. E. (2009). *Doing research in the real world*. 2nd edition. Los Angeles, California; Thousand Oaks, California; New Delhi; Singapore: SAGE Publications Ltd. 2009. ISBN: 978-1-84787-336-1

Gray, D. E. (2018). *Doing research in the real world*. 4th edition. London; Thousand Oaks, California: SAGE Publications Ltd. 2018. ISBN: 978-1-4739-4727-6

Greif, M. (1991). *The Visual Factory*. Productivity Press. Cambridge, UK. 281 s.

Haahtela Y. ja Kiiras, J. (2014). *Talonrakennuksen kustannustieto 2014*. Helsinki: Haahtela-kehitys. 2014. ISBN: 978-952-5403-22-0. s. 366-382

Hackler, C., Byse, E., Reed, D. ja Alves, T. C. L. (2017). Building a Lean Culture. In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 309-316. DOI: <https://doi.org/10.24928/2017/0301>

Harstad, E., Lædre, O., Svalestuen, F. ja Skhmot, N. (2015). How Tablets Can Improve Communication in Construction Projects. In: *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia. s. 391-401

Helminen, J. (2016). *Tietomallipohjainen rakennettavuuden hallinta koulurakennuksen tuotantovaiheessa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. Espoo. 81 s.

Howell, G. A. (1999). What is Lean Construction. *Proceedings of the 7th Annual conference of the international group of Lean Construction*. Berkeley, USA 1999.

IGLC. (2015). *The International Group for Lean Construction*. Online-julkaisu. Saatavissa: <http://www.iglc.net/Home/About> [Viitattu 4.3.2019]

Juntunen, J. (2015). *Big Room suunnittelun ohjauksen työkaluna*. Diplomityö. Tampereen Teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Espoo. 73 s.

Kautto, T. (2012). *Elementtisuunnittelun mallinnusohje*. Helsinki: Betoniteollisuus ry. 2012.

Kenley, R. ja Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. London, New York: Spon Press. s. 107-113

Kerosuo, H., Mäki, T., Codinhoto, R., Koskela, L. ja Miettinen, R. (2012). In time at last - adaptation of last planner tools for the design phase of a building project. In: Tommelein, I.D. & Pasquire, C.L., *Proceedings of the 20th Annual conference of the international group of Lean Construction*. San Diego, USA 18-20 Jul 2012.

Kerosuo, H., Mäki, T. ja Korpela, J. (2013). Knotworking – A Novel BIM-based Collaboration Practice in Building Design Projects. in H. Kim, T. Brizendine, B. Gehrig, J. Hildreth, C.-S. Cho, D. Chen, N. Lu, T. Cavalline & P. Juneja (eds), *Proceedings of the 5th International Conference on Construction Engineering and Project Management ICCEPM, 9-11, January 2013*. pp. 1-7, ICCEPM 2013, The 5th International Conference on Construction Engineering and Project Management, Orange County, California, United States, 9.1.2013

Kerosuo, H., Paavola, S. Miettinen R. ja Mäki, T. (2017). *Hankkeista oppiminen: Tietomallintamisen johtaminen, organisointi ja koordinointi rakennushankkeissa: Loppuraportti työsuojelurahaston tutkimus- ja kehittämishankkeesta*. Hankenumero 115196. Helsingin yliopisto, käyttäytymistieteiden tiedekunta. Helsinki.

Koniel, O. (2017). *Mobiililaitteiden käyttö työnjohdon välineenä työmaalla*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka. 55 s.

Koskela, L. J. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. CIFE Technical Report #72. Stanford University, VTT Building Technology. Elokuu 1992.

Koskela, L. J. (1999). Management of Production in Construction: A Theoretical View. *Proceedings of the 7th Annual conference of the international group of Lean Construction*. Berkeley, USA 1999

Koskela, L. J. (2004). Making-do – the eighth category of waste. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. University of Salford.

Koskela, L., Bølviken, T. ja Rooke, J. (2013). Which are the wastes of construction?. *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Fortaleza, Brasilia.

Koskela, L., Koskenvesa, A. ja Sipi, J. (2004). *Työmaan toimiva tuotannonohjaus – Opas Last Planner™-menetelmään*. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. ISBN: 952-5472-21-3

Koskenvesa, A. (2010). Rakennustyön tuottavuus 1975-2010. In: A. Koskenvesa, ed. *Rakentajain kalenteri 2011*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2010. ISSN 0355-550X s. 138-146

Koskenvesa, A. ja Koskela, L. J. (2005). Introducing Last Planner - Finnish Experiences. University of Salford. s. 95-107

Koskenvesa, A., Merikallio, L. ja Heinonen A. (2018). *Lean rakennusalalla –koulutus 12.-13.3.2018*. Luennot Helsingissä 12.-13.3.2018 ja luentomateriaalit. Mittaviiva Oy.

Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series)*. New York, USA: McGraw-Hill Companies, Inc. 2008. s. 254

Laiserin, J. (2007). AEC BIMfinity and Beyond!. *Cadalyst AEC Insight Column*, 1.11.2007. Saatavissa: <https://www.cadalyst.com/aec/to-bimfinity-and-beyond-aec-insight-column-3686> [Viitattu 2.5.2019]

Lassila, R. (2016). *Rakennussuunnittelun Resepti - Tietomallintaminen ja lean-työskentely rakennushankkeen suunnittelunohjauksen apuvälineenä*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Talouden ja rakentamisen tiedekunta, Arkkitehtuurin laitos, Arkkitehtuurin koulutusohjelma. Tampere. 149 s.

Latvala, J. (2012). Tietomallinnuksen hyödyntäminen työmaatoiminnassa. *Aalto University Professional Development – Aalto PRO*. Fira Oy. Vantaa.

Lindberg, J. (2019). *Käyttäjäroolin määrittely Solibri-ohjelmaan*. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka. Helsinki. 31 s.

- Lindholm, T. (2014). *Lean in Construction Projects – Is lean suitable for all construction projects?*. Master's thesis. Royal Institute of Technology (KTH) Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Building Technology. Stockholm, Sweden. 62 s.
- Lohilahti, O. (2017). Rakennusallalla työn tuottavuus ei ole juuri kasvanut 40 vuodessa – ongelmana on ollut vuoropuhelun puute. *Helsingin Sanomat* 2.9.2017, [verkossa]. Saatavissa: <https://www.hs.fi/talous/art-2000005350624.html> [Viitattu 18.7.2018]
- Marttinen, P. (2015). *Design management practices between structural and building services design*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka, Talonrakennustekniikka. Espoo. 102 p.
- Merikallio, L. ja Haapasalo, H. (2009). *Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämisskohteet kiinteistö- ja rakennusallalla*. Yhteisraportti. Helsinki: Rakennusteollisuus RT
- Mestre, M., Stainer, A., Stainer, L. ja Strom, B. (2000). *Visual communications – the Japanese experience*, Corporate Communications: An International Journal, Vol. 5 Issue: 1, pp.34-41, <https://doi.org/10.1108/13563280010317569>
- Mossman, A. (2018). What is lean construction: another look. In: *Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, González, V.A. (ed.), Chennai, India, s. 1240–1250. DOI: <https://doi.org/10.24928/2018/0309>
- Mukaddes, A. M. M., Rashed, C. C. A., Malek, A. B. M. A. ja Kaiser, J. (2010). Developing an Information Model for Supply Chain Information Flow and its Management. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 1, No. 2, June 2010. s. 226-231. ISSN: 2010-0248
- Murvold, V., Vestermo, A., Svalestuen, F., Lohne, J. ja Lædre, O. (2016). Experiences from the use of BIM-Stations. In: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Mäki, T., Kerosuo, H. ja Koskenvesa, A. (2018). *Tää on ollut meille kyllä tosi tuskasta... - Tarinoita rakennusallan muutoshankkeista*. Espoo: Mittaviiva Oy. 2018. ISBN: 978-952-94-0273-1
- Neff, G., Fiore-Silfvast, B. ja Dossick, C. S. (2010). A Case Study of the Failure of Digital Communication to Cross Knowledge Boundaries in Virtual Construction. *Information, Communication & Society*, 13:4. s 556-573. DOI: 10.1080/13691181003645970
- O'Connor, R. ja Swain, B. (2013). *Implementing Lean in construction: Lean tools and techniques – an introduction*. London: CIRIA. ISBN: 978-0-86017-732-6
- The Office of Management and Budget. (2017). *North American Industry Classification System (NAICS)*. Executive Office of the President, USA. s. 123-141
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Productivity Press. Cambridge. 143 s.

Opitz, F., Windisch, R. ja Scherer, R. J. (2014). Integration of document- and model-based building information for project management support. *Procedia Engineering*. 2014, Vol.85, s. 403-411. ISSN: 1877-7058

Patel, A. (2011). *The Last Planner System for Reliable Project Delivery*. Maisterivaiheen opinnäytetyö. The University of Texas at Arlington, Civil Engineering. 53 s.

Pérez, C. T., Fernandes, L. L. A. ja Costa, D. B. (2016). A Literature Review On 4D BIM For Logistics Operations And Workspace Management. In: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, MA, USA. s. 53-62

Puranen, E. (2016). *Rakennushankkeen aikataulun visualisointi tarjousvaiheessa*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 80 s.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. ja Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), s. 968-980.

Sacks, R., Radosavljevic, M. ja Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 19(5), s. 641-655.

Sacks, R., Treckmann, M. ja Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2009. 135(12): 1307-1315 DOI: 10.1061/ASCE CO.1943-7862.0000102

Setälä, J. (2017). *Rakennusvaiheen aikataulun hallinta tietomallinnetuissa kohteissa*. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen ala, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 45 s.

Simpanen, J-A. (2018). *Rakennuksen tietomallin hyödyntäminen ja käytön kehittäminen rakennustuotannossa*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Talouden ja rakentamisen tiedekunta. Masku. 87 s.

Smith, J. P. ja Ngo, K. (2017). Implementation of Lean Practices Among Finishing Contractors in the US. In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 421-428. DOI: <https://doi.org/10.24928/2017/0182>

Sorvali, I. ja Metelinen, M. (2014). *Rakennuksen tietomallin käyttö mobiililaitteilla*. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu, Tietotekniikan koulutusohjelma. 38 s.

Staub-French, S. ja Khandoze, A. (2007). 3D and 4D Modeling for Design and Construction Coordination: Issues and Lessons Learned. *ITcon Vol. 12 (2007)*. s. 381-407

Suokas, E. (2015). *Big Room –menetelmän soveltaminen omaperusteisen asuntotuotannon hankekehitys- ja suunnittelunohjausprosessissa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka, Rakennetekniikka. Espoo. 85 s.

Sundaram, S. (1996). *Integrating visual interaction modeling with multiple criteria group decision support systems*. Väitöskirja, The University of Wisconsin, Milwaukee, WI

Teittinen, T. *Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta*. Erikoistyö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://docplayer.fi/6411623-Tietomallipohjainen-maara-ja-kustannuslaskenta.html> [Viitattu 13.2.2019]

Tekla. (2019). BIM betonielementtien valmistuksessa. Online-julkaisu. Saatavissa: <https://www.tekla.com/fi/referenssit/ab-str%C3%A4ngbetong> [Viitattu 14.2.2019]

Tezel, A., Koskela L. ja Tzortzopoulos, P. (2010). *Visual management in construction: Study report on Brazilian cases*. University of Salford, Manchester.

Toledo, M., Olivares, K. ja González, V. (2016). Exploration of a Lean-BIM Planning Framework: A Last Planner System and BIM-Based Case Study. In: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Boston, USA. s. 3-12.

Trimble. (2018). *Trimble Urakoitsijaseminaari*. Asiakastapahtuma Helsingissä 21.8.2018.

Vestermo, A., Murvold, V., Svalestuen, F., Lohne, J. ja Lædre, O. (2016). BIM-Stations: What it is and how it can be used to Implement Lean Principles. In: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.

Womack, J. P., Jones, D. T. ja Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson Associates. ISBN: 0-89256-350-8

Womack, J. P ja Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Revised and updated. London: Simon & Schuster UK Ltd. ISBN: 0-7432-3164-3

Yin, R. K. (2003). *Applications of Case Study Research*. 2nd ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications. ISBN: 0-7619-2551-1

Yin, R. K. (2009). *Case study research: design and methods*. 4th ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications. ISBN: 978-1-4129-6099-1

Young, B. K., Hosseini, A. ja Lædre, O. (2017). A Comparison of Project Alliancing and Lean Construction. In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 61-68. DOI: <https://doi.org/10.24928/2017/0196>

YTV. (2012a). Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 1. Yleinen osuus. Helsinki: Rakennustieto Oy. 21 s.

YTV. (2012b). Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 8. Havainnollistaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. 14 s.

YTV. (2012c). Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 11. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. 24 s.

YTV. (2012d). Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy. 21 s.

Zeng, N., König, M. ja Teizer, J. (2017). Off-site Guarding: Look-ahead Supply Scheduling for Risk Indication with BIM. In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 877-884. DOI: <https://doi.org/10.24928/2017/0196>

Liite 1. Haastattelukysymykset

Haastateltava:

Lupa äänittää haastattelu: ☐ Kyllä
☐ Ei

Taustatietoa haastateltavasta

1. Mikä on tämänhetkinen työtehtäväsi?
2. Missä kohteessa työskentelet?
3. Kuinka pitkä kokemus sinulla on nykyisestä työtehtävästäsi? Kuinka pitkä kokemus sinulla on rakennusosalta?
4. Ovatko seuraavat termit sinulle tuttuja?
 - a. Lean
 - b. BIM
 - c. Last Planner
 - d. Big Room
 - e. 4D
5. Oletko saanut koulutusta lean-rakentamisesta ja/tai tietomallintamisesta?

Informaativirta

6. Mikä on tärkeää informaatiota sinulle tehtävässäsi/tehtäviesi hoitamiseksi?
7. Koetko saavasi tarpeeksi informaatiota tehdäksesi työtäsi?
8. Kuka sitä tuottaa ja kenelle sinä edelleen tuotat informaatiota?
9. Onko informaatio helposti saatavilla?
10. Näetkö informaation liikkumisen tarpeeksi tehokkaana oman työsi kannalta?
11. Entä muiden työhön osallistuvien kannalta?
12. Jos informaatiovirrassa on nähty puutteita, onko korjaaviin toimenpiteisiin ryhdytty?
13. Kuinka itse parantaisit information kulkua?
14. Onko informaatiopuutteesta aiheutunut suoria tai epäsuoria haittoja sinulle tai projektillesi? Millaisia?
 - a. Jos kyllä, oliko niillä suoria/epäsuoria kustannusvaikutuksia?
 - b. Jos kyllä, oliko niillä suoria/epäsuoria laatuvaikutuksia?
 - c. Jos kyllä, oliko niillä suoria/epäsuoria aikatauluvaikutuksia?
15. Oletko suunnitellut työtehtävien toteuttamista yhdessä muiden osapuolten (esim. tekijä, työnjohtaja, toimittaja jne) kanssa?

Tietomallintamisen hyödyntäminen informatiivirran hallinnassa

16. Käytätkö työssäsi mobiililaitteita?
 - a. Mitä mobiililaitteita?
 - b. Mihin tarkoitukseen?
17. Mitä tietomallinnusohjelmistoja olet käyttänyt?
18. Koetko saaneesi mallista helpommin tietoa kuin piirustuksista/työselostuksesta?
19. Oletko saanut mallista tietoa, jota ei ollut saatavissa piirustuksista/työselostuksesta?
20. Koetko tietomallin käytön hyödylliseksi tehtäviesi suorittamisen kannalta? Miksi?
21. Koetko, että tietomallin käyttö parantaa tiedonvälitystä eri osapuolten välillä? Keiden?